

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund-
und Kieferkrankheiten der Philipps-Universität Marburg

Geschäftsführender Direktor:
Prof. Dr. med. Dr. med. dent. H.-J. Hering

**Zur Frage der Paßgenauigkeit zahnärztlicher
Gußobjekte in Abhängigkeit von der Form**

**Untersuchungen an Vollgußkronen mit ungleichen
Wandstärken**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von
Günter Lohmann
aus Menden

Marburg 1974

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund-
und Kieferkrankheiten der Philipps-Universität Marburg

Geschäftsführender Direktor:
Prof. Dr. med. Dr. med. dent. H.-J. Hering

**Zur Frage der Paßgenauigkeit zahnärztlicher
Gußobjekte in Abhängigkeit von der Form**

**Untersuchungen an Vollgußkronen mit ungleichen
Wandstärken**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von
Günter Lohmann
aus Menden

Marburg 1974



Angenommen von dem Fachbereich Humanmedizin der
Universität Marburg am 5. Juli 1974

gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. med. H. Oepen

Referent: Prof. Dr. med. dent. G. Janke

Correferent: Prof. Dr. rer. nat. P. Ihm

Inhaltsverzeichnis

<u>I. Einleitung</u>	Seite
a) Kurzer historischer Überblick über die Entwicklung der zahnärztlichen Gußtechnik	2
b) Das Gußproblem (Problemstellung der Arbeit)	3
c) Theorie und Praxis des Präzisionsgusses (Der heutige Stand der zahnärztlichen Gußtechnik)	5
d) Präzision zahnärztlicher Gußstücke	25
 <u>II. Hauptteil</u>	
<u>Eigene Untersuchungen</u>	
a) Durchführung der Versuche	29
b) Meßwerte	41
c) Auswertung der Meßwerte	74
d) Zusätzliche Ergebnisse der Versuche	77
e) Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	80
f) Diskussion der Ergebnisse	82
 <u>III. Zusammenfassung</u>	 86
<u>IV. Literaturverzeichnis</u>	88

I Einführung

Die Kunst, defekte Zahneinheiten durch gegossene Goldkronen oder Inlays wieder funktionsfähig zu machen und damit vor weiterer Zerstörung zu schützen und noch für längere Zeit in der Mundhöhle zu erhalten, zählt zu den wertvollsten und auch aufwendigsten Methoden, die dem Zahnarzt heute zur Verfügung stehen.

a) Kurzer historischer Überblick über die Entwicklung der zahnärztlichen Gußtechnik

Allgemein wird behauptet, TAGGART sei der Urheber des heute noch angewandten Gußverfahrens (GREVE, K.²³, DABER⁷, KNAPP²⁹, STRAUSS⁴⁴). FLAUMENHAFT²⁰ schreibt jedoch, daß der Amerikaner B.F. PHILBROOK schon 1897 über gegossene Füllungen berichtet habe. Populär wurde der zahnärztliche Goldguß jedenfalls erst durch einen Vortrag, den TAGGART am 15. Januar 1907 auf der Jahresversammlung der NEW YORK ODONTOLOGICAL SOCIETY hielt. PHILBROOK und TAGGART gebührt jedenfalls der Verdienst, das Problem der Herstellung paßgenauer Gußformen durch Einbetten der Wachsmodele in Lötgips gelöst zu haben. Es wird auch davon berichtet (BREMNER, M.D.K. zit. in FLAUMENHAFT²⁰), daß TAGGART bei der Demonstration seiner Gußtechnik und seiner mit Gasdruck (Lachgas) arbeitenden Gießmaschine Inlays von einer solchen Paßgenauigkeit hergestellt habe, daß sie nicht von Goldkloppfüllungen zu unterscheiden gewesen seien.

Einen weiteren wichtigen Fortschritt auf dem Gebiet des zahnärztlichen Goldgusses brachte die Ausnutzung der Zentrifugalkraft zum Einbringen der Goldschmelze in die Gußform. JAMESON entwickelte einen Apparat, der im wesentlichen unseren heutigen Horizontal-schleudern entspricht. Wenig später wendeten BARDET und HERBST die einfachere Handschleuder an, die auch heute noch teilweise im Labor Verwendung findet (GREVE, K.²³).

Damit waren die Grundvoraussetzungen zur Herstellung feinsten und passgenauer zahnärztlicher Gußstücke gegeben. Dieses Gußverfahren fand später auch in der Industrie weite Verbreitung unter der Bezeichnung "LOST-WAX-FEINGUSSVERFAHREN" (BRUNHUBER⁶).

b) Das Gußproblem

In über einem halben Jahrhundert technischer Weiterentwicklung wurden manche Verbesserungen an Materialien, besonders an den Einbettmassen und den Goldlegierungen sowie an der Handhabung der Geräte eingeführt. Doch auch in neuerer Literatur (STRAUSS⁴⁴ u.a.) spricht man immer noch vom Gußproblem, denn die Möglichkeit von Gußfehlern - MOELLER³⁶ nennt in seiner Einteilung fast 50 Fehlermöglichkeiten - die einerseits in falscher Handhabung, andererseits in den Materialien zu suchen sind, ist sehr groß.

In der Praxis ist es leider so, daß manchmal ohne große Überlegung eine Gußarbeit nach einem eingefahrenen Ar-

beitsschema ausgeführt wird, und man sich manchmal bei der Einprobe der fertigen Arbeit wundert, warum das Stück nicht bzw. schlecht paßt.

Zähne, die z.B. mit einer Vollgußkrone versorgt werden müssen, sind in der Regel (manchmal ist eine Ausnahme die Überkronung als Brückenpfeiler) bereits mit inzwischen nicht mehr brauchbaren Füllungen versehen. Man sieht gelegentlich, daß solche Zähne dann nach Entfernung der alten Füllungen und Entfernen aller kariöser Zahnschubstanz ohne eine Aufbaugestaltung direkt zur Aufnahme einer Vollgußkrone beschliffen werden.

Ein ärgerlicher Zwischenfall in der zahnärztlichen Praxis ist der, daß nach Aufbau des Zahnes, z.B. mit Unterfüllungszement oder Standalloy, beim Beschleifen der Zahneinheit oder sogar bei der Abdrucknahme die Aufbaufüllung ganz oder teilweise wieder herausbricht. Wenn solche Zähne dann direkt mit einer Vollgußkrone versorgt werden, so ergeben sich erstens recht massige und schwere Kronen, zweitens zeigen sie im Inneren oft recht "barocke" Formen.

Man kann dann die Beobachtung machen, daß solche Kronen schlechter passen als die, die eine gleichmäßige Form und geringe Wandstärken haben.

Diese Praxiserfahrung gab den Anlaß für die vorliegende Arbeit. Die Frage, warum gleichmäßige, dünnwandige Kronen bessere Paßgenauigkeit haben, soll hier untersucht werden.

c) Theorie und Praxis des Präzisionsgusses

(Der heutige Stand der zahnärztlichen Gußtechnik)

Der Herstellungsgang einer Gußkrone birgt von der Abdrucknahme am Patienten bis zum Einzementieren der fertigen Arbeit eine Menge von Fehlermöglichkeiten und Arbeitsgängen, bei denen sich Ungenauigkeiten einschleichen können.

Die Probleme, die mit der Technik der Abdrucknahme, mit dem Abdruckmaterial und mit der Herstellung form- und maßgetreuer Modelle zusammenhängen, möchte ich hier ausklammern, da sie das Thema dieser Arbeit nicht direkt berühren.

Das problematische Wachsmodeill

Nach der Modellherstellung und Isolierung des Stumpfes mit einem Trennmittel (in der Regel nimmt man hierzu Präparate, die dünnflüssige Öle, z.B. Zitronenöl, Silikonöl oder ähnliches, enthalten) ist der nächste Arbeitsgang zur Herstellung eines gegossenen Zahnersatzes die Modellation in Gußwachs.

Nach REHBERG (in K.EICHNER¹³) sind an Gußwachse, die zur Kennzeichnung vom Hersteller in der Regel grün oder dunkelblau eingefärbt sind, folgende Forderungen zu stellen:

- 1) rückstandsloses Verbrennen
(Rückstände unter 0,1%)
- 2) geringes elastisches Verhalten
- 3) geringe thermische Kontraktion
(unter 0,4 - 1,6%)

WEIKART⁴⁹ fordert u.a. zusätzlich noch:

- 4) Gußwachs müssen bei etwa 43°C bereits so plastisch verformbar sein, daß sie leicht in alle Feinheiten einer Zahnkavität gedrückt werden können.
- 5) Sie müssen erweichen ohne zu bröckeln.
- 6) Sie sollen sich mit dem Messer schaben lassen.

Außerdem fordern wir, daß das Wachs nach dem Erkalten eine genügende Härte annimmt, so daß beim Abheben der Wachsmodellation vom Modell oder beim Hantieren mit dem Wachsmodell ein Verbiegen der Modellation ausgeschlossen werden kann.

Auf die Problematik des Wachsmodells als "formlabiles Übertragungsnegativ" der Zahnkavität weist besonders JANKE²⁷ hin, der deswegen eine Gußtechnik fordert, bei der dieses durch ein "formstabiles Übertragungsnegativ" ersetzt wird.

BEEK¹ zitiert mehrere Autoren, die anführen, daß Wachs ein sehr unbeständiges Material ist und daß Expansion bzw. Kontraktion sehr unregelmäßig verlaufen. Deswegen findet man in der Literatur auch sehr unterschiedliche Werte über das thermische Verhalten dieses Werkstoffs.

So gibt WEIKART⁴⁹ für die thermische Expansion eines Markengußwachses folgende Werte an:

- Von 20 - 30 °C beträgt die Expansion 0,20 %
- Von 30 - 40 °C beträgt die Expansion 0,38 %
- Von 40 - 50 °C beträgt die Expansion 0,48 %

Das Wachs expandiert beim Modellieren und kontrahiert danach oft erst, nachdem es vom Stumpf entfernt worden ist, so daß dadurch ein verkleinertes und zudem verzerrtes Wachsmodell resultiert.

Um eine möglichst geringe Kontraktion des Wachsmodells zu erreichen und damit paßgenaue Wachsmodelle herzustellen, ist es demnach sinnvoll, das Wachs nicht durch Schmelzen, sondern durch plastische Verformung zu verarbeiten (FLAUMENHAFT²⁰), wozu für die bei uns gängigen Wachssorten eine Erwärmung bis auf höchstens 50°C nötig ist, und zweitens das Wachsmodell nicht sofort vom Stumpf zu lösen.

Für Arbeiten mit besonderen Ansprüchen an die Paßgenauigkeit empfiehlt die DEGUSSA¹⁰, ein Unterziehwachs zu verwenden. Dieses läßt sich weitgehend spannungsfrei verarbeiten und zeigt nur sehr geringe thermische Expansion bzw. Kontraktion.

Wir haben auch gute Erfahrungen damit gemacht, daß wir die fertige Wachsmodellation, nachdem die Gußstifte angebracht worden sind, mit dem Modell für etwa 10 Minuten in ein ca. 30 - 35°C warmes Wasserbad geben, damit sich die durch die Verarbeitung im Wachs entstandenen Spannungen oder die latenten Elastizitäten ausgleichen können (DEGUSSA¹⁰), denn nach BEEK¹ erfolgt der Ausgleich von Veränderungen um so langsamer, je niedriger die Aufbewahrungstemperatur ist.

Anbringen der Gußkanäle

Bevor wir nun zur Anbringung der Gußstifte, die die Gußkanäle präformieren, kommen, müssen wir einige Überlegungen

über das Verhalten der Metallschmelze beim Erstarren und Erkalten anführen:

PRICE (zit. in BONSAK⁴) beschreibt schon 1911 drei Phasen der Volumensverminderung des Gußmetalls nach dem Guß:

- 1) Thermische Kontraktion des flüssigen Metalls im Temperaturbereich bis zum Beginn der Erstarrung
(= Flüssigkeitskontraktion)
- 2) Kontraktion des Metalls während der Erstarrung infolge Aufbau eines Kristallgitters
(= Erstarrungskontraktion)
- 3) Thermische Kontraktion des festen Metalls vom Soliduspunkt zur Raumtemperatur
(= Festkörperkontraktion oder feste Schwindung)

Diese Kontraktionsvorgänge werden von WEIKART⁴⁹, ENGLER¹⁹, WAGNER⁴⁸ und anderen in der gleichen Weise beschrieben.

Das Verhalten einer Metallschmelze beim Abkühlen läßt sich graphisch wie in Abbildung 1 darstellen.

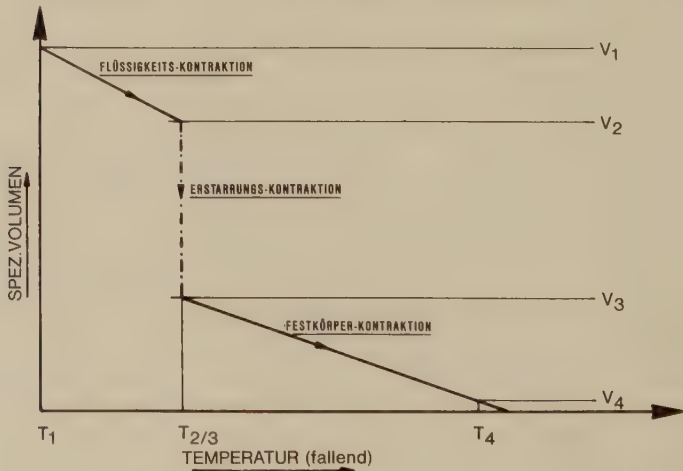


Abb. 1: Das Verhalten einer Metallschmelze beim Abkühlen (verändert nach ENGLER¹⁹)

Die Auswirkungen der drei Schrumpfungsvorgänge auf das fertige Gußstück zeigt folgendes Schema in Abbildung 2.

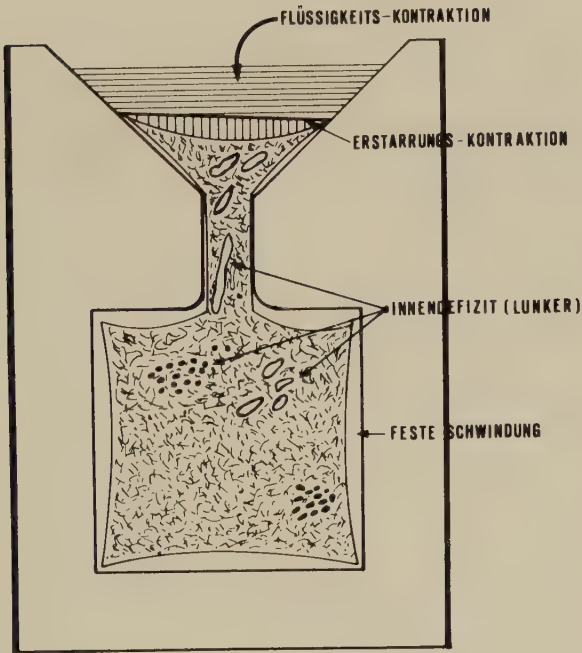


Abb. 2: Schrumpfungsvorgänge am Gußobjekt¹⁹
(verändert nach BRUNHUBER⁶ und ENGLER¹⁹)

Die erste Kontraktionsphase im flüssigen Zustand des Metalls spielt für unsere Überlegungen zur Gußgenauigkeit keine Rolle, da das Metall durch den Gußkanal ungehindert nachfließen kann.

Die zweite Phase, die Erstarrung, - die Schrumpfung wird dabei von KYSELOVA u. Mitarbeiter³³ sowie von WAGNER (in EICHNER¹³) mit 5 Vol.% angegeben, was nach GAUSS, F.G.²¹ ca. 1,7 % linear entspricht - führt dagegen zu Gußfehlern (Lunkern und Verformungen).

Man ist nun bestrebt, diese naturgesetzliche Erstarrungskontraktion zu lenken, d.h. möglichst auf jene Formteile abzulenken, die für die Paßform der Gußstücke ohne Bedeutung sind. Wenn man so im Gußobjekt eine gerichtete Erstarrung - auch gesteuerte oder gelenkte Erstarrung genannt - (VOSS⁴⁷, MARX³⁴) erreicht, kann man solche Volumensdefekte weitgehend ausgleichen.

Dazu führt WAGNER⁴⁸ die Abkühlungsgesetze von NEWTON und N.CHVORINOV an, die besagen, daß die Abkühlungszeit abhängig ist vom Verhältnis Volumen zur Oberfläche sowie zwei Konstanten, die durch Gießform und Gießmetall bestimmt werden. Das heißt also, daß bei einem Gußobjekt die dünnen Stellen sich eher abkühlen und erstarren als die dickeren. Um ein Nachspeisen des Gußobjektes mit flüssigem Metall während der Erstarrung zu erreichen, müssen die Gußkanäle demzufolge an den dicksten Stellen des Gußstückes angebracht sein, die zuletzt erstarren, und zweitens müssen die Gußkanäle so dick sein, daß das Metall, das sich im Gußkanal befindet, nicht zu früh erstarrt und dadurch ein Nachspeisen des Gußobjektes verhindert oder schlimmer, daß nicht der Gußkanal

während der Erstarrung aus dem noch nicht erstarrten Gußstück: Schmelze nachsaugt und damit Lunker und Porositäten im Werkstück verursacht.

Gerichtete Erstarrung heißt also, daß die Erstarrung an einem Ende des Gußobjektes beginnen soll, sich kontinuierlich über das Gußstück ausbreitet und in dem bzw. den Gußkanälen zuletzt Platz greift.

Für den speziellen Fall einer Vollgußkrone wird deswegen, auch unter Beachtung der Strömungsverhältnisse, von WEIKART⁴⁹, WAGNER⁴⁸, DEGUSSA^{8,10}, KYSELOVA u. Mitarbeiter³³, VOSS⁴⁷ u.a. gefordert, daß die Gußkanäle auf dem höchsten Höcker in einem Winkel von 135° zur Zahnachse, d.h. 45° zur Okklusalebene, anzubringen sind, damit die Schmelze, möglichst ohne Richtungsänderungen, die Form füllen kann, und einen Durchmesser von mindestens 2,5 mm, besser aber von 3,0 mm, haben sollen.

KYSELOVA, KYSELA u. MARES³³ haben sich in einer Arbeit, die sich mit der Strömung der Metallschmelze beim Guß und den Kontraktionsdefekten, die durch die Erstarrung entstehen, befaßt, herausgefunden, daß gebogene Gußkanäle bessere Ergebnisse liefern. Man führt dies auf ein langsames Füllen der Formen und bessere Durchwärmung der gebogenen Kanäle zurück.

Wir empfehlen deswegen, die Gußkanäle wie in Abbildung 3 dargestellt anzubringen. Als Material verwenden wir 3 mm dicke Profilwachsstangen.

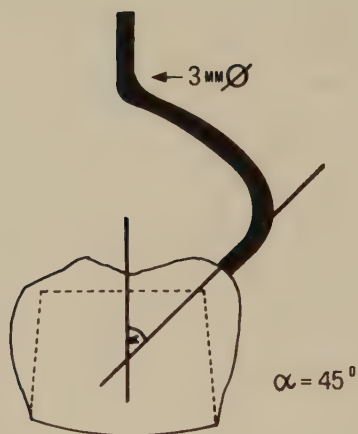


Abb. 3: Anbringung der Gußkanäle an einer Vollgußkrone

Die Anbringung eines verlorenen Kopfes oder, technisch ausgedrückt, eines Speisers wird viel diskutiert. Wir sind mit MARX³⁴, KYSELOVA u. Mitarbeiter³³, DEGUSSA¹⁰ und VOSS⁴⁷ der Meinung, daß ein genügend dimensionierter Gußkanal (für eine Vollgußkrone 3 mm Ø) einen verlorenen Kopf überflüssig macht, vor allem, wenn dieser, wie in der Praxis üblich, zu klein gewählt wird und damit den Erfolg des Gusses eher verschlechtert

als verbessert (DEGUSSA^{9,10} fordert für eine Vollgußkrone einen verlorenen Kopf von 4 - 6 mm Ø). Zweitens kann der dünne Übergang zwischen dem verlorenen Kopf und dem Gußstück das Nachspeisen verhindern.

Einbetten der Wachsmodellation

Nachdem ein oder mehrere Gußkanäle nach den oben angegebenen Regeln angebracht worden sind, sowie das Modell der auch schon erwähnten Entspannungsbehandlung im Wasserbad ausgesetzt worden ist, wird das Wachsmodell zum Einbetten vorbereitet.

Wir besprühen es mit einem Netzmittel, das ein dichteres Anlagern der Einbettmasse an das Wachsmodell bewirken soll infolge Aufhebung der Oberflächenspannung des in der Einbettmasse enthaltenen Wassers (DEGUSSA¹⁰, BONSACK⁴, HEIBACH²⁴, GRASSL²²). Dann wird das Wachsmodell so in einen Gußtrichterformer eingesetzt und die Gußmuffel aufgesetzt, daß

- 1.) die Gußkanäle in der Mitte der Muffel verlaufen und
- 2.) das Gußobjekt nicht weiter als höchstens 5 mm vom Boden der Muffel entfernt liegt.

Hierbei geht die DEGUSSA¹⁰ von folgenden Überlegungen aus: Nach dem Guß erkaltet die Muffel, da die Einbettmasse ein schlechter Wärmeleiter ist, langsam von außen nach innen, und weil bei dieser Art der Einbettung die Gußkanäle im Wärmezentrum der Muffel und das Gußobjekt außerhalb liegen, wird so die gerichtete Erstarrung

unterstützt. Außerdem führen HEHRING (in EICHNER¹³), BEEK¹ und WEIKART⁴⁹ an, daß dadurch Gase und Luft beim Füllen der Gußformen besser entweichen können.

Außerdem soll die Innenwand der Muffel mit einer Lage Asbestpappe ausgekleidet werden (DEGUSSA¹⁰, DREYER-JØRGENSEN¹¹, HEHRING in EICHNER¹³), weil dadurch die Temperaturleitfähigkeit der Muffelwand noch weiter verringert wird. Auch soll eine bessere Expansion der Einbettmasse (s.u.) möglich sein (DREYER-JØRGENSEN¹¹, BEEK¹, GRASSL²²), da andernfalls durch die geringe Wärmeexpansion der Metallmuffel die Einbettmasse zu sehr gepreßt wird (KÖNSGEN³¹).

Einbettmasse

Die Einbettmassen werden von WEIKART⁴⁹ folgendermaßen definiert: "Als Einbettmassen bezeichnet man Massen, die mit einer Flüssigkeit angemischt zunächst plastisch sind, dann aber zu einer auch bei höheren Temperaturen festen Masse erstarren. Solche Massen setzen sich aus einer feuerfesten Grundsubstanz und einem Bindemittel zusammen."

Nach HEHRING (in EICHNER¹³) bestehen unsere Einbettmassen aus Gips-Halbhydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) als Bindemittel, feuerfesten Bestandteilen wie Quarz, Cristobalit oder Tridymit, und Zusätzen wie z.B. Borax, Natriumsulfat, Kochsalz, Kohlenstoff und Farbstoffen. Neuerdings sind auch gipsfreie Einbettmassen auf dem Markt (z.B. Deguvest HFG, Hersteller: Degussa), die aus Cristobalit und Magnesiumverbindungen sowie anderen Zusätzen

bestehen und mit einer kolloidalen Kieselsäurelösung angerührt werden (HEHRING in EICHNER¹³).

Die Einbettmasse nimmt bei der Lösung des Gußproblems eine zentrale Stellung ein; denn sie hat die Aufgabe, die feste Schwindung des Gußstückes (s.o.) auszugleichen.

Nach WAGNER⁴⁸ beträgt die Kontraktion, die während des Abkühlens eines Gußstückes vom Soliduspunkt auf Raumtemperatur auftritt, linear etwa 1,6 %. Deshalb muß die Gußhohlform entsprechend vergrößert werden.

In der Industrie wird das dadurch erreicht, daß man die Modelle entsprechend größer arbeitet (BRUNHUBER⁶, WEIKART⁴⁹). Nach früheren Versuchen, eine Vergrößerung der Wachsmodele durch Erwärmen zu erreichen (Wachsexpansionsmethode nach ORBAN³⁷ und ROSENZWEIG⁴⁰), was aber nach MAVES und LASATER³⁵ zu Verzerrungen und Verformungen führt, nutzt man heute in der zahnärztlichen Gußtechnik die Expansion der Einbettmasse

- a.) beim Abbinden und/oder
- b.) beim Vorwärmen aus.

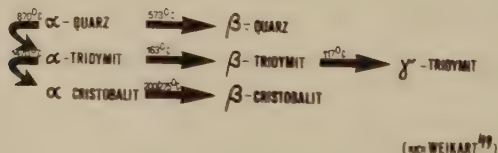
ad a.): die Abbinde-, Erstarrungs- oder Kaltexpansion

Nach HEHRING (in EICHNER¹³) kommt es beim chemisch-physikalischen Vorgang der Hydratation des Gips-Halhydrates zu einer Expansion der Masse, wobei, je nach Gipsgehalt der Einbettmasse, eine Vergrößerung um 0,1 bis 0,5 % lin. gemessen wird. SCHEU (zit. nach HEHRING in EICHNER¹³) beschrieb erstmals, daß man die Abbindeexpansion dadurch steigern kann, daß man während des Abbindevorganges der Masse noch weiteres Wasser hinzufügt, wodurch sich die Expansionswerte auf 1,1 %

lin. (HEHRING in EICHNER¹³) bis sogar über 2,0 % lin. (SKINNER und DEGNI⁴³) steigern lassen (hygroskopische Einbettechnik). HEHRING (in EICHNER¹³), BEEK¹ und FLAUMENHAFT²⁰ lehnen dagegen dieses Verfahren ab, da es zu schwer kontrollierbar ist und zu ungleichmäßigen Verformungen der Gußform führen kann.

ad b.): die thermische oder Warmexpansion

Bei der Erwärmung der Einbettmasse kontrahieren zwar die Gipsbestandteile der Einbettmasse; Quarz und in verstärktem Maße die Quarzmodifikationen Cristobalit und Tridymit dehnen sich dagegen aus (HEHRING in EICHNER¹³). Diese Ausdehnung beruht auf den Umwandlungen der Quarzmodifikationen, die stets mit Volumenveränderungen verbunden sind z.B.



Diese Reaktionen können durch Zusatz von NaCl, KCl oder LiCl gefördert werden (HEHRING in EICHNER¹³). Siehe dazu auch Abb. 4.

Die Werte für die thermische Expansion einer Einbettmasse werden je nach dem Zusammensetzungs- und Mischungsverhältnis - wobei man im allgemeinen bestrebt ist, den Gipsanteil so gering wie möglich zu halten - im Bereich

von 1,0 bis 1,6 % lin. liegen (HEHRING in EICHNER¹³). Auch soll man nicht mit zuviel Wasser anrühren, weil dadurch auch die Expansionswerte herabgesetzt werden (VOLLAND u. PFAFFENBERGER⁴⁶, INGRAHAM, BASSETT, KOSER²⁵).

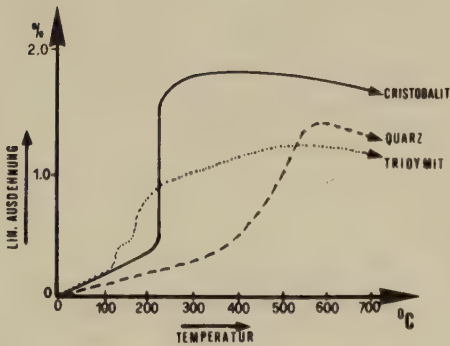


Abb. 4: Lineare thermische Expansion von Quarz und Quarzmodifikationen (nach ENDELL und HOFFMANN¹⁸, WEIKART⁴⁹)

Das typische Verhalten zweier Einbettmassen zeigt das Diagramm in Abb. 5. Man beachte auch, daß die Erhitzungskurve von der Abkühlungskurve mehr oder weniger abweicht.

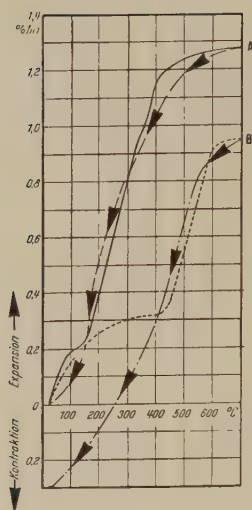


Abb. 5: Thermische Expansion und Kontraktion
 A: einer cristobalithaltigen
 B: einer quarzhaltigen Einbettmasse
 (nach HEHRING in EICHNER¹³)

(Wie sich auch aus Abbildung 5 ergibt, kontrahiert die Einbettmasse beim Abkühlen wieder recht rasch. Deshalb weist HEHRING in EICHNER¹³ darauf hin, daß nach dem Vorwärmen der Guß schnell zu erfolgen hat.)

Die Gesamtexpansionswerte einer Einbettmasse ergeben sich aus der Summation aller Volumenveränderungen:

- a) Abbindeexpansion
- b) thermische Expansion der Quarzbestandteile

Die Einbettmethode

Die Technik des Einbettens hat auf den Enderfolg größten Einfluß. Außer dem einfachen Einrütteln der Wachsmodellation in die Einbettmasse haben in der Praxis zwei Einbettechniken Bedeutung:

1.) Die Schicht-Kerneinbettung

Dies ist einmal die sogenannte Schicht-Kerneinbettung. Dabei wird dünnflüssig angerührte Einbettmasse auf die Wachsmodellation aufgetropft oder aufgespritzt und unter feinem Rütteln, z.B. indem man mit einem Le-Cron-Instrument am Gußkanal entlangreißt (nur bei Gußkanälen, die durch Metallstifte gebildet werden, möglich), wird weiteres Einbettmassepulver aufgestäubt. Wenn das ganze Wachsmodell von ziemlich fester Einbettmasse umgeben ist, läßt man diesen "Kern" trocknen und gibt ihn später in eine Muffel, die wiederum mit Einbettmasse aufgefüllt wird.

JANKE²⁶, DABER⁷, HEIBACH²⁴ und KÖNSGEN³¹ berichten über gute Ergebnisse mit dieser Methode. Auch in jüngster Zeit schreiben BINUS und DEUTRICH², daß sie bei vergleichenden Versuchen mit dieser Methode die besten Erfahrungen machten. Die Nachteile der Schicht-Kerneinbettung sind die, daß eine genaue Dosierung des Wasser/Pulver-Verhältnisses und gleichmäßiges Arbeiten nicht möglich sind (INGRAHAM, BASSETT u. KOSER²⁵, JANKE²⁷). Dieses Verfahren erfordert viel Erfahrung und ein gewisses Fingerspitzengefühl vom Techniker.

In erster Linie ist diese Verarbeitungsweise für die billigeren nur Quarz und Gips enthaltenden Einbettmassen

geeignet (z.B. Duroterm oder die in der DDR verwendete Hohenbocka-Einbettmasse).

2.) Die Vakuumeinbettung

Für das zweite Einbettverfahren sind dagegen nur die cristobalithaltigen Einbettmassen geeignet, da das Pulver-Flüssigkeitsverhältnis zugunsten des Wasseranteils verschoben ist. Dieses Einbettverfahren hat in letzterer Zeit immer mehr Anhänger gefunden. Es zeichnet sich dadurch aus, daß genaues, einfaches und schnelles Arbeiten auch für einen weniger geübten Techniker möglich ist.

Das Prinzip ist folgendes:

Während oder direkt nach dem Anmischen der Einbettmasse wird diese in einem Vakuum auf einen Rüttler mit feiner Vibration gebracht, wodurch in der Masse enthaltene Luftbläschen an die Oberfläche steigen und zerplatzen.

GRASSL²² fordert ein Vakuum von 12 - 16 mm Hg und hat errechnet, daß sich dabei ein Luftbläschen um das 40-fache seines Volumens bei 760 mm Hg vergrößert und durch den Vibrator um so leichter an die Oberfläche gebracht wird. Moderne Geräte erreichen heute ein Vakuum von unter 10 mm Hg (ca. 99%-iges Vakuum).

Nach dem Anrühren wird dann die Masse entweder auf dem Rüttler in die vorbereitete Muffel gegossen oder die Muffel wurde auch evakuiert, und es ist ein direktes Umfüllen im Vakuum möglich.

Nach der Vakuumbehandlung wird die Masse durch den äußeren Luftdruck stark komprimiert, so daß außer dem Austreiben von Luftbläschen eine große Härte und Glätte erreicht wird.

BONSACK⁴ spricht von einem "sensationellen Fortschritt" und hebt vor allem hervor, daß mit dieser Methode ein schnelles Arbeiten möglich ist.

PRENZ³⁸ erwähnt das sichere Ausschalten aller Luftblasen und fordert nicht zu schnell abbindende Einbettmassen, die nicht zu dick angerührt werden dürfen, da sonst die Luftblasen nicht entweichen können und die Masse porös und schwammig wird.

Seine Meßwerte ergaben bei der Vakuumeinbettung eine Härtesteigerung um nahezu 100 % und eine Steigerung der thermischen Expansion. Die Abbindeexpansion zeigt jedoch schlechtere Werte. Daraus kann man schließen, daß nicht alle Einbettmassen gleich gut zur Vakuumeinbettung zu gebrauchen sind, weil diejenigen Massen mit hohem Gipsgehalt, die dadurch eine hohe Abbindeexpansion zeigen, bei Verwendung der Vakuumeinbettung schlechtere Ergebnisse liefern. Die negativen Erfahrungen, die KÖNSGEN³¹ mit der Vakuumeinbettung gemacht hat, lassen sich mit Sicherheit auch auf die Verwendung einer für dieses Verfahren nicht geeigneten Einbettmasse zurückführen.

Auswachsen und Vorwärmen der Gußform

Nachdem die Einbettmasse genügend lange abgebunden hat und vorgetrocknet ist, wird die Muffel zum Austreiben des Wachses so in einen Vorwärmofen gegeben, daß der Gußkanal nach unten zeigt. Bei der Abbindezeit richtet man sich nach den Angaben der Hersteller der Einbettmassen (die DEGUSSA¹⁰ z.B. empfiehlt für ihre Masse 30 - 40 Min.). Ein zu langes Lagern der Muffel nach dem

Einbetten (z.B. über Nacht) ist zu vermeiden, da dabei die Einbettmasse zu sehr austrocknet und sich beim Erhitzen der Muffel das Wachs in die Poren der Einbettmasse setzt (DEGUSSA¹⁰, HEIBACH²⁴). Außerdem ist es dann nicht mehr möglich, daß überschüssiges Wasser der Einbettmasse das Wachs aus der Form ausspült (HEIBACH²⁴). Allgemein wird die Verwendung eines elektrisch beheizten Ofens mit einer thermostatisch auf ca. 200°C geregelten Temperatur empfohlen (DEGUSSA¹⁰, HEHRING in EICHNER¹³, HEIBACH²⁴).

Das Auswachsen der Muffel auf offener Flamme wird abgelehnt.

Die Dauer des Auswachsens richtet sich nach der Größe der Muffel und des Gußobjektes. Man erkennt das Ende des Auswachsens und Trocknens der Einbettmasse daran, daß aus dem Gußkanal weder Flüssigkeit noch Dampf entweicht, und daß die Einbettmasse eine gleichmäßige Farbe angenommen hat. DEGUSSA¹⁰ empfiehlt als Richtzeiten für eine kleine Muffel 30 Min., für eine mittelgroße 40 Min..

Anschließend wird der Ofen auf 700 - 750°C aufgeheizt, und nach Erreichen dieser Temperatur werden die Muffeln je nach Größe noch für 20 - 60 Min. (DEGUSSA¹⁰) im Ofen belassen, bis sie durch und durch die eingestellte Vorwärmtemperatur erreicht haben.

Eine Erhöhung dieser Temperatur über 750°C hinaus ist nicht ratsam, weil dadurch eine weitere Expansionssteigerung (s. auch Abb. 5) nicht möglich ist, und dann, besonders in gasbeheizten Öfen, eine chemische Zersetzung der Einbettmasse erfolgen kann. Das Gips-Halbhydrat zersetzt sich zu Ca O, SO₂ und O₂, wodurch Form und Festigkeit

der Masse beeinträchtigt werden. Das entstandene Schwefeldioxyd schädigt auch u.U. das Gußmetall (HEHRING in EICHNER¹³, WEIKART⁴⁹).

Der eigentliche Gießvorgang

Als Gießapparaturen finden heute am häufigsten Horizontalschleudern Verwendung, bei denen die Metallschmelze durch Fliehkraft in die Form gebracht wird. MARX³⁴, der sich mit dem Einfluß des Gußverfahrens auf die Poren- und Lunkerbildung befaßt, gibt zusammen mit anderen Autoren diesen Geräten den Vorzug und machte gute Erfahrungen mit der Degussa-Tiegelschleuder mit elektrischer Schmelzvorrichtung. Bei diesem Gerät wird das Metall in der reduzierenden Atmosphäre eines Kohletiegels geschmolzen.

Eine andere brauchbare und etwas weniger aufwendige Möglichkeit ist die, das Gußmetall im offenen Schmelztiegel mit Hilfe einer reduzierenden offenen Flamme (Gas-Luft-Gemisch) zu verflüssigen (DEGUSSA¹⁰), wobei nach WEIKART⁴⁹ die Gefahr einer unerwünschten Gasaufnahme sowie die des Überhitzens der Schmelze besteht.

Nach DEGUSSA¹⁰ sollte die Gießtemperatur nur etwa 50°C über der Liquidustemperatur des Metalls liegen.

Beim Vergießen schon einmal geschmolzener Legierungen ist auch die Anwendung geringer Mengen eines Flußmittels kurz vor dem Guß ratsam (INGRAHAM, BASSETT, KOSER²⁵, DEGUSSA¹⁰). Auch sollte man nicht bereits mehrmals geschmolzene Metallreste zum Guß verwenden, da hierbei unedle Legierungsbestandteile oxydiert sein können, was die Eigenschaften der Legierung verändert. Deshalb soll

nach DEGUSSA⁹ stets wenigstens ein Drittel bis ein Halb des Metalls aus neuen Gußwürfeln bestehen. Auf die Notwendigkeit eines schnellen Arbeitens zur Vermeidung stärkerer Abkühlung der Muffel vor dem Guß wurde schon hingewiesen (s. Seite 17). Wir haben es uns deswegen zur Angewohnheit gemacht, erst dann, wenn das Metall schon bis kurz vor den Liquiduspunkt erhitzt worden ist, die Muffel (evtl. durch eine Hilfsperson) aus dem Vorwärmofen zu nehmen und auf die Schleuder aufzulegen.

Die Dauer des eigentlichen Gießvorganges gibt WAGNER in EICHNER¹³, je nach Dicke des Gußkanals und der Art der Maschine, mit 0,1 - 0,67 sek. an.

Behandlung des Gußobjektes nach dem Guß

Nach dem Guß soll die Muffel langsam bis auf Zimmertemperatur abkühlen, wodurch eine große Endhärte des Gußstückes erreicht wird (DEGUSSA¹⁰). Abschrecken der Muffel in kaltem Wasser, wie es DREYER-JØRGENSEN¹² zuläßt, ist deswegen zu vermeiden.

Nach dem Abkühlen wird das fertige Gußstück ausgebettet und in 10 %-iger Schwefelsäure (DREYER-JØRGENSEN¹²) oder einer Ätzmittellösung (z.B. Neacid^R, Degussa) (DEGUSSA¹⁰) zur Entfernung kleinerer Einbettmassereste und oberflächlicher Oxydschichten erhitzt.

Die Behandlung des Stückes mit Korundstrahlern oder in einer Glänzanlage lehnen wir wegen des zu großen Materialabtrages, was zu Ungenauigkeiten führen muß, ab.

Danach werden die Außenseiten des Gußobjektes nach Abtrennen der Gußkanäle mit Steinchen und Polieren weiterbearbeitet und auf Hochglanz gebracht.

d) Präzision der zahnärztlichen Gußstücke

Zum Thema der Gußgenauigkeit spricht WEIKART⁴⁹ nach den ISA-Normen von Passung. Unter Passung versteht er "die Beziehung aus gefügten Teilen, die sich aus dem Maßunterschied dieser Teile vor dem Einfügen ergibt. Man unterscheidet hierbei Spiel-, Übergangs- und Preßpassungen". Für eine Vollgußkrone ist eine Spieldpassung anzustreben, da die Krone mit Zement befestigt wird und für den Überschuß Abflußmöglichkeit und Raum für die Zementschicht bleiben muß.

WEIKART⁴⁹ hat durch Versuche mit Stempeln, die er in entsprechende Bohrungen einführte, nachgewiesen, daß der Stempel gegenüber der Bohrung ein Untermaß von wenigstens $60\text{ }\mu\text{m}$ $\varnothing$ haben muß, damit man den angemischten Brei eines Befestigungszementes durchpressen kann. JANKE²⁸ hat bei verschiedenen Zementen Filmdicken von $8 - 17\text{ }\mu\text{m}$ und darüber gemessen. Deshalb wird von vielen Autoren (DREYER-JØRGENSEN¹¹, EINFELDT¹⁶, REHBERG³⁹, EICHNER und VOSS¹⁵) übereinstimmend gefordert, daß zwischen Krone und Zahnstumpf ein Spalt von mindestens $20\text{ }\mu\text{m}$ Breite die Grenze der zu erstrebenden Genauigkeit darstellt.

Wie wirkt sich dieser Spalt aber jetzt auf den Randschluß einer Vollgußkrone aus? Bei einer Stufenpräparation ergibt sich ein Spalt zwischen der Stufe und dem Kronenrand, bei einer Slice-Präparation bedeutet das, daß ein Stückchen beschliffener Zahnschubstanz freiliegt. Beide Phänomene werden mit "zervikaler Dehiszenz" bezeichnet (BRETTTHAUER⁵). Diese wird in der Regel auch in einer Größenordnung von wenigstens $20\text{ }\mu\text{m}$ liegen, weil zwischen Kronendeckel und Stumpf auch ein Zementfilm ist.

Rein geometrisch vergrößert sich die zervikale Dehiszenz bei Untermaß der Krone oder bei zu dicker Zementschicht nach folgender Gleichung (BRETTTHAUER⁵):

$$\text{zervikale Dehiszenz} = \frac{\text{Schichtdicke des Zementes} \\ \text{bzw. halbes Untermaß der Krone}}{\sin \text{Neigungswinkel der} \\ \text{Präparationsfläche}}$$

$$X = \frac{F}{\sin \alpha}$$

(vergleiche Abbildung 6)

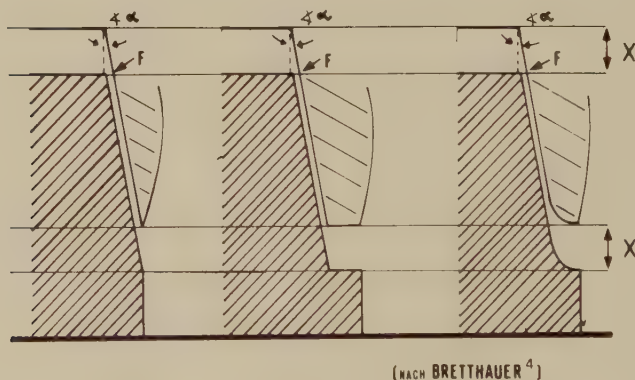


Abb. 6: Einfluß der Filmdicke des Befestigungszementes auf die zervikale Dehiszenz

In der Praxis liegen die Verhältnisse aber etwas anders: Erstens dürfen wir nicht von ideal glatten Oberflächen an Zahnstumpf und Innenseite der Krone ausgehen, sondern es sind immer Rauigkeiten vorhanden, die am Zahn, je nach Glättungszustand, im Bereich von ca. $4\text{ }\mu\text{m}$ (Sandpapier) bis $40\text{ }\mu\text{m}$ (Diamantschleifer) liegen und an der Innenfläche der Krone noch um einiges größer sind (BOLOURI und MARXKORS³). Dadurch ergeben sich Abflußwege für den Zementbrei, auch wenn die Krone teilweise dem Stumpf dicht anliegt.

Zweitens weist auch der Kronenrand entsprechende Zacken und Rauigkeiten auf, so daß auch bei einer "idealen" Krone, ohne Zement auf den Stumpf aufprobiert, mikroskopische Hohlstellen vorhanden sind, die sich beim Aufzementieren noch vergrößern.

In der zahnärztlichen Praxis läßt sich die Exaktheit einer Gußkrone nur durch Überprüfung des Randschlusses feststellen. Aus dem oben Angeführten geht hervor, daß eine zervikale Dehiszenz von wenigstens $20\text{ }\mu\text{m}$ unvermeidbar ist. Was wird aber als oberste Grenze angesehen?

KNAPPWOST³⁰ schreibt, daß die Entstehung einer Sekundärkaries u.a. von der Breite der Zementfuge abhängig ist. Das Ausmaß der Auswaschung des Zementes durch den Speichelfluss vergrößert sich proportional der dritten Potenz der Spaltbreite. Demzufolge muß der Randspalt möglichst klein gehalten werden. Als äußerstes vom wissenschaftlichen Standpunkt zu vertretendes Maß wird eine Spaltbreite von $50\text{ }\mu\text{m}$ angegeben (DREYER-JØRGENSEN¹¹, EICHNER¹⁴,

EINFELDT¹⁶, KOERBER und LENZ³² u.a.). Hierbei wird in der Praxis keine Sekundärkaries beobachtet.

Für den Praktiker wird dieser Wert von DREYER-JØRGENSEN¹¹ verdeutlicht indem er sagt:

"Man kann sagen, daß beispielsweise eine Gußfüllung genügende klinische Präzision hat,

- 1.) wenn sie in der Kavität festzementiert in einer solchen Weise paßt, daß es mit dem besten Auge nicht möglich ist, irgendwelchen Spalt zwischen Füllung und Zahn noch einen marginalen Überschuß oder Defekt zu sehen, und
- 2.) wenn man mit einer spitzen Sonde weder Spalt noch Überschuß fühlen kann."

Für Kronen kann man diese Aussage sinngemäß gelten lassen. REHBERG³⁹ meint, daß ein Spalt von ca. 15 - 20 μm Breite noch eben mit bloßem Auge zu erkennen sei; aber ein mit Zement ausgefüllter Spalt gleicher Breite sei wegen des schlechten Farbkontrastes kaum mehr erkennbar. Eine spitze Sonde imponiere unter dem Mikroskop als Parabel oder Halbkugel mit einem Radius von etwa 25 μm . Damit ließen sich Spalten von 10 - 20 μm nur noch dann feststellen, wenn die Ränder sehr scharfkantig seien. Vergleichsweise habe ein Haar einen Durchmesser von ca. 50 μm (REHBERG³⁹).

II Hauptteil

Eigene Untersuchungen

a) Durchführung der Versuche

Zur Durchführung dieser Versuche ließ ich mir drei Meßkörper entsprechend den Abbildungen 7, 8 und 9 aus Werkzeugstahl herstellen, die stilisierte Zahnstümpfe darstellen sollen, welche für die Versorgung mit einer Stufenkrone beschliffen sind. Es wurde die Größe der Stümpfe entsprechend der von Molaren gewählt, da bei diesen Zahneinheiten in der Praxis am häufigsten Vollgußkronen hergestellt werden. Bei der Wahl des Präparationswinkels richteten wir uns nach den Angaben von VEST⁴⁵ (s. Abb. 7, 8, 9).

An der oberen Kante der Stümpfe wurden mit einer Feile kleine Rillen angebracht, die das Aufsetzen der Versuchskronen in nur einer Position sichern sollen.

(Foto 1 zeigt die Versuchsstümpfe)



Foto 1: Versuchsstümpfe aus Stahl

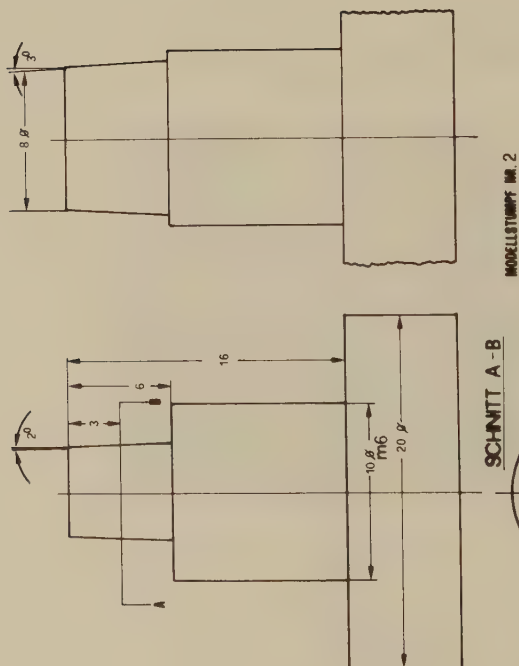


Abb. 8: Maßzeichnung für Modellstumpf
Nr. 2

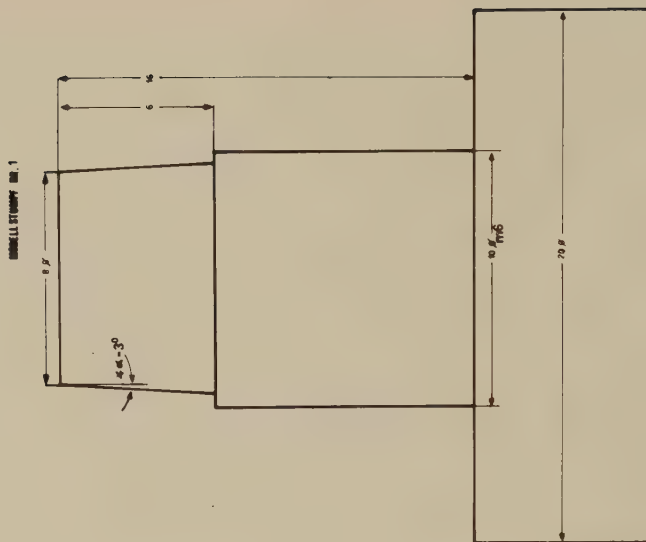


Abb. 7: Maßzeichnung für Modellstumpf
Nr. 1

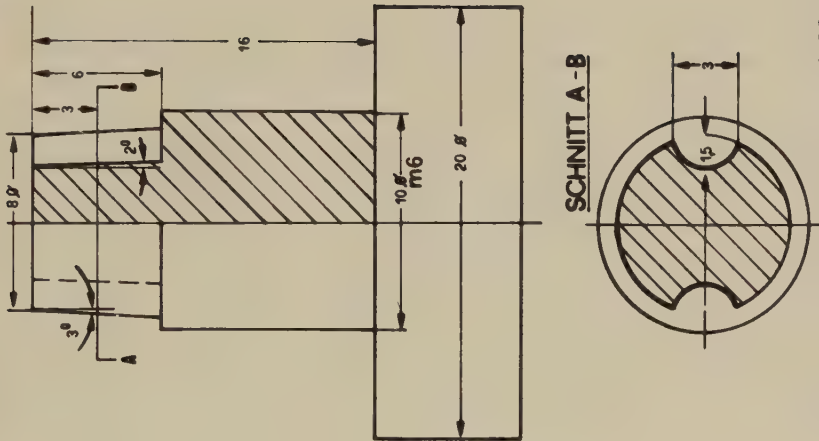


Abb. 9: Maßzeichnung für Modellstumpf
Nr. 3

Der Stumpf Nr. 1 hat eine gleichmäßige drehrunde Form. Ein dazu passendes Goldkämpchen, das diesen Stumpf zu einem Zylinder ergänzt, hat eine mittlere Wandstärke von ca. 1 mm. Bei den Stümpfen Nr. 2 und Nr. 3 wurden noch zusätzlich zwei gegenüberliegende plane bzw. halbrunde Einfräsungen von ca. 1,5 mm Tiefe herausgearbeitet, so daß an diesen Stellen die Wandstärke der Kronen im Mittel ca. 2,5 mm betragen. Letztere sollen entsprechend der Problemstellung der Arbeit Sonderformen der Präparationsgestaltung darstellen.

Um bei der Durchführung der Gußversuche vermeidbare Fehlerquellen auszuschließen, wurde die Wachsmodellation auf den Stümpfen vorgenommen und mit Hilfe einer mechanischen Vorrichtung vereinfacht.

Dazu wurde, passend zu den Modellstümpfen, ein Käppchen hergestellt (s. Abb. 10), das an der "Präparationsgrenze" gegen den Sockel unserer Modellstümpfe mit einer strammen Passung abschließt. Dieses Käppchen wurde in ein Gerät eingespannt, das erlaubt, mit Hilfe eines Schraubtriebes das Käppchen über den Metallstumpf zu schieben, so daß plastisches Wachs zwischen den Stumpf und das Käppchen eingepreßt werden konnte. Der Überschuß entwich durch ein Loch im Deckel des Käppchens.

Zur Herstellung der Wachsmodellation wurde Ruscher-Inlay-Wachs⁺ verwendet, das sich durch eine große Härte auszeichnet und damit Verformungen der Modellation nach dem Erkalten ziemlich ausschließt. Dieses Wachs wurde in einem Heißluftschrank mit thermostatischer Steuerung auf ca. 50°C erhitzt, so daß es plastisch wurde.

Nachdem der Stumpf und das Modellationskäppchen mit Isolit^{R++} isoliert und die Vorrichtung, um ein Abschrecken des Wachses zu vermeiden, auf Handtemperatur erwärmt worden war, konnte dann in der beschriebenen Weise die Wachsmodellation hergestellt werden.

⁺Hersteller: Fa. A. Ruscher, 8002 Zürich/Schweiz
(Importeur für Deutschland:
Fa. Ubert & Co., 35 Kassel, 1 Berlin 33)

⁺⁺Hersteller: Degussa, GB Dental, 6 Frankfurt/Main

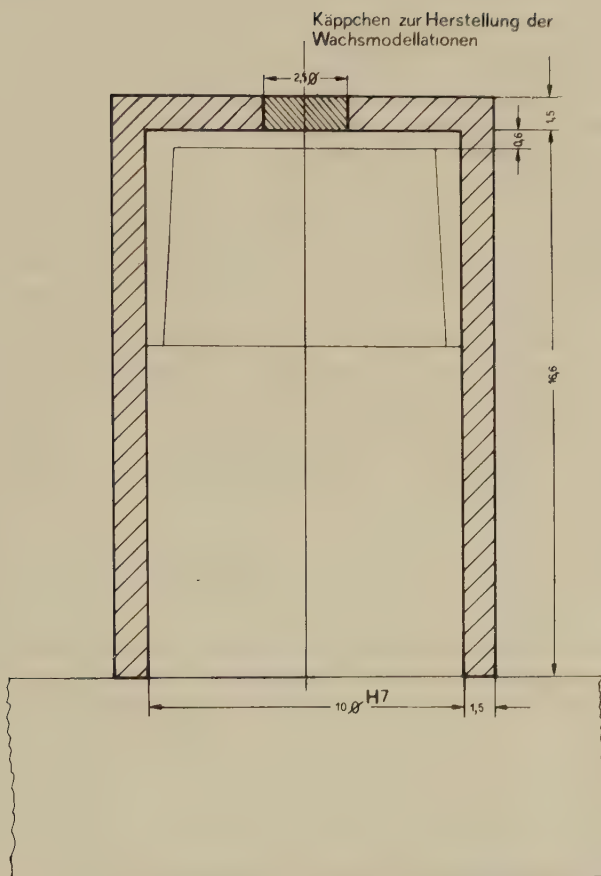


Abb. 10 : Maßzeichnung für das Käppchen zur Herstellung der Wachsmodellationen.

Das Ergebnis waren glatte Modellationen, die die Modellstümpfe jeweils zu einem Zylinder ergänzten und in Hinsicht auf Glätte und einwandfreien Randschluß von gleichbleibender Qualität waren.

Nach dem Erkalten wurden Stumpf und Modellation durch einen Stift von oben aus dem Käppchen herausgeschoben.

- 1.) Bei einem Teil der Modellationen wurde dann zentral oben auf dem Deckel der Kronen zur Präformation der Gußkanäle ein Bohrerschaft (2,3 mm Ø) angebracht und die Wachsmodele mit Stümpfen für 10 Minuten in ein 30 - 35°C warmes Wasserbad gebracht, damit sich die durch das Pressen im Wachs entstandenen Spannungen ausgleichen konnten. Nachdem das Wachs dann wieder bis auf Zimmertemperatur abgekühlt war, wurde das Modell vorsichtig von der Wachsmodellation getrennt, kurz in Waxit^{R+} getaucht und der Überschuß mit dem Munde abgeblasen.

Diese Modelle wurden dann mit Hilfe der Schicht-Kern-einbettmethode (s. Seite 19) eingebettet. Damit sich Unregelmäßigkeiten beim Guß gleichmäßig auf alle Versuchsgruppen verteilen, wurden nach Herstellung der Kerne jeweils drei Modelle von verschiedenen Stümpfen mit Hilfe eines Gußtrichterformers (s. auch Foto Nr. 3) in eine mit Asbestpappe ausgekleidete Gußmuffel der Größe 3X⁺ eingebettet. Als Einbettmasse fand Duroterm^{R++} Verwendung. Auf richtige Lage der Gußobjekte in der Muffel wurde dabei besonders geachtet.

⁺Hersteller: Degussa, GB Dental, 6 Frankfurt/Main

⁺⁺Hersteller: Bayer-Werke, Leverkusen

Nach etwa 45 Minuten hatte die Einbettmasse abgebunden, und die Muffel wurde dann etwa eine Stunde lang in einem elektrischen Vorwärmofen bei 200°C ausgewachst und getrocknet. Dann wurde der Ofen zum Vorwärmen auf 700°C aufgeheizt, und die Muffel nach Erreichen dieser Temperatur noch etwa eine halbe Stunde im Ofen belassen. Gegossen wurde auf einer Degussa-Tiegelschleuder⁺. Als Gußmetall wurde Phantommetall Degussa⁺⁺ verwendet, das mit Hilfe eines Gas-Luft-Brenners geschmolzen wurde. Es wurden zum Guß nur neue oder wenigstens 1/3 neue Gußplättchen verwendet.

Nach dem Guß ließen wir die Muffeln bis auf Zimmertemperatur abkühlen, betteten die Gußstücke aus, und nachdem sie mit Hilfe eines Instrumentes von der Einbettmasse befreit waren, wurden sie ohne weitere Bearbeitung auf den entsprechenden Stümpfen aufprobiert.

Zur genauen Auswertung der Versuchsergebnisse wurde der Randspalt zwischen unseren Versuchskronen und der Präparationsstufe der Stahlstümpfe mit einem Meßmikroskop⁺⁺⁺ (Foto 2) an zehn Meßpunkten auf dem Umfang des Stumpfes ausgemessen. Dazu war ein zehnkantiger Metallblock mit durchnummerierten Kanten angefertigt worden, auf den die Stümpfe zum Vermessen aufgeschraubt wurden.

⁺ Hersteller: Degussa, GB Dental, 6 Frankfurt/Main

⁺⁺ nach Angaben der Degussa-Zweigniederlassung Pforzheim (pers. Brief vom 28.8.1972) handelt es sich bei diesem Material um eine Silber (5 %)-Kupfer-Zink-Legierung. Schmelzintervall: $880-770^{\circ}\text{C}$ Spez. Gew. $8,2 \text{ g/cm}^3$ Vorwärmtemp. der Muffel: 700°C

⁺⁺⁺ Hersteller: Firma Leitz, Wetzlar

Zum Messen wurde dieser Block mit Prüfkörper unter das Mikroskop gelegt und über sämtliche Flächen abgerollt (Foto 2). So konnten zehn Messungen an immer gleichen Stellen auf der Peripherie des Stumpfes durchgeführt werden (vgl. ELSNER-HAHN¹⁶).

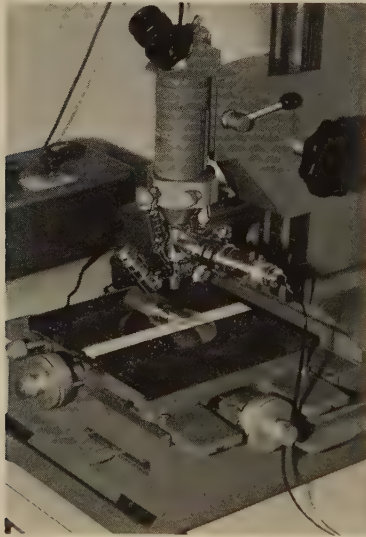


Foto 2 : Meßmikroskop mit untergelegtem Prüfkörper

Die Stümpfe wurden immer so auf diesen Sockel angeschraubt, daß bei den Prüfkörpern Nr. 2 und Nr. 3 die Einfräsungen der Stümpfe, d.h. die dickeren Wände der Kronen, stets mitten über den Meßseiten 3 und 8 lagen.

Zuerst wurden auf diese Weise für jeden Prüfkörper 7 Kronen aus Phantommetall hergestellt und ausgemessen. Die Ergebnisse zeigen die Tabellen 1 bis 3. Die Mittelwerte der Spaltbreiten an gleichen Meßpunkten wurden graphisch aufgetragen (s. Kurven zu Tabellen 1 bis 3). Als Fehlerbalken sind die Standardabweichungen der Mittelwerte aufgetragen (s. Kap. III c).

- 2.) Anschließend wurden für jeden Stumpf jeweils 5 Versuchskronen aus Degulor M⁺ hergestellt. Dabei wurde das Verfahren der Vakuumeinbettung angewendet. Hierbei wurde die Deguvest HFG-Einbettmasse⁺⁺ verwendet. Das ist eine gipsfreie Einbettmasse, die hohe thermische Expansionswerte zeigt. Als Anrührflüssigkeit wird eine kolloidale Kieselsäurelösung verwendet (HEHRING in EICHNER¹³). Diese Lösung wird mit destilliertem Wasser verdünnt, wobei es möglich ist, die Expansionswerte durch Ändern des Verdünnungsverhältnisses den jeweiligen Erfordernissen anzupassen.

⁺ Hersteller: Degussa, GB Dental, 6 Frankfurt/Main
Schmelzintervall 970-900°C
Spez. Gew. 15,7 g/cm³

⁺⁺ Hersteller: Degussa, GB Dental, 6 Frankfurt/Main

Für Inlays, Kronen und für alle Teile, bei denen ein Zementspalt einkalkuliert werden muß, empfiehlt die DEGUSSA⁹ eine Konzentration der Deguvest-Anrührflüssigkeit von 75 %, wobei eine Gesamtexpansion der Masse von 1,9 % lin. erreicht wird. Genau nach Vorschrift des Herstellers wurden 180 gr. Pulver mit 25,5 cm³ Flüssigkeit im großen Mischbecher des Multivac-Vakuumgerätes⁺ kurz angemischt und dann unter Evakuieren des Anrührgefäßes 60 sec. lang maschinell durchgerührt. Anschließend wurde die Masse auf einem Rüttler in die Muffel, die mit Asbestpappe ausgekleidet war, eingefüllt.

(Das Multivac-Gerät bietet zwar auch die Möglichkeit, die Muffel mitzuevakuieren und die Einbettmasse ohne Aufheben des Vakuums in die Muffel einzufüllen. Aber bei Vorversuchen haben wir damit weniger gute Erfahrungen gemacht, weil die relativ zähe Masse nicht genügend schnell fließt und schon während des Füllens der Muffel abzubinden beginnt. Außerdem ergeben sich, besonders bei schon mehrmals verwendeten und damit leicht verformten Muffeln, weitere Schwierigkeiten, da diese mit dem Gußtrichterformer nicht genügend luftdicht zu verschließen sind.)

Die Ergebnisse dieser Versuchsserie zeigen die Tabellen und Kurven 4, 5 und 6.

- 3.) Bei den nächsten Versuchen wurden zusätzlich die Dicke und Form der Gußkanäle geändert. Wir verwendeten jetzt

⁺Hersteller: Degussa, GB Dental, Frankfurt/Main

Gußkanäle aus 3 mm dicken Profilwachsstangen, die im Winkel von 45° zur Zahnachse angebracht wurden und einen geschwungenen Verlauf hatten (s. Zeichnung Nr.3). Bei den Käppchen, passend zu Stumpf Nr.1, brachten wir nur einen Gußkanal an; bei den anderen Prüfkörpern brachten wir zwei Gußkanäle jeweils an den verdickten Stellen der Wachsmodellationen an. Drei Wachsmodellationen mit 3 mm dicken und gebogenen Gußkanälen auf einem Gußtrichterformer zum Einbetten vorbereitet, zeigt Foto 3.

Hiermit wurde im Prinzip eine Technik angewandt, wie sie von der DEGUSSA⁹ unter dem Namen "Degussa-Präzisionsgußsystem" propagiert wird.

Auf diese Weise wurden für jeden Prüfkörper jeweils 5 Kronen aus Phantommetall (s. Tabelle und Kurve 7, 8, 9) und 5 Kronen aus Degulor M (s. Tabelle und Kurve 10, 11, 12) hergestellt.

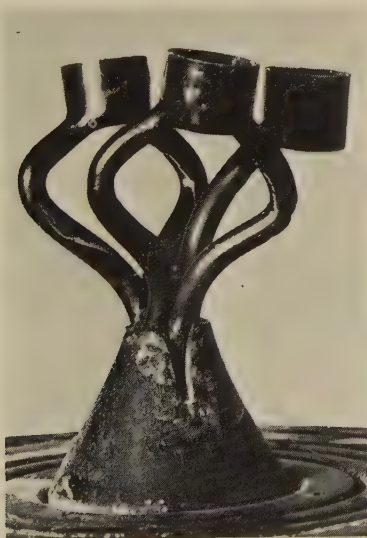


Foto 3 : Kronen mit Gußkanälen aus Profilwachs auf einem Gußtrichterformer

4.) Zusätzlich wurden noch für die Prüfkörper Nr. 2 und Nr. 3, d.h. für die Prüfkörper mit den Einfräsungen, jeweils 5 Kronen aus Phantommetall (s. Tabelle und Kurve 13, 14) und 5 Kronen aus Degulor M (s. Tabelle und Kurve 15, 16) hergestellt, bei denen zwar, was Kaliber und Form betrifft, die Gußkanäle wie bei den vorigen Versuchen waren, nur jetzt wurden sie an den dünnen Wandstellen angebracht. Als Vergleichsversuche für den Stumpf Nr. 1 können hier die Tabellen und Kurven Nr. 7 und 10 dienen.

b) Meßwerte

(Statistische Auswertung s. Kap. III c)

Erklärung der Formelzeichen:

$\bar{x}$ = arithmetrischer Mittelwert

s = Standardabweichung

$s_{\bar{x}}$ = Standardabweichung des Mittelwertes

s^2 = Varianz

$s_{\text{ges.}}$

$s_{\text{ges.}}^2$ = Standardabweichung bzw. Varianz
aller Werte einer Tabelle

Zu den Kurven:

Ordinate: gemittelte zervikale Dehiszenz
(d.h. Spaltbreite zwischen der Stufe
des Stumpfes und dem Kronenrand)

Abszisse: Meßpunkte 1 bis 10

Zur besseren Übersicht über die Versuchsergebnisse
wurden alle Kurven im gleichen Maßstab gezeichnet.

Bei den zu den Versuchsstümpfen mit Einfräsungen
passenden Kronen liegen die verdickten Wände immer
über den Meßpunkten 3 und 8.

Tabelle 1:

Kronenform: Stumpf Nr. 1 (gleichmäßige Wandstärke)
 Einbettmasse: Duroterm (Kerneinbettung) Gußmetall: Phantometall
 Gußkanal: 2,3 mm Ø, gerade, zentral auf dem Kronendeckel angebracht

Krone Nr.	Zervikale Dehnsenz an der Stufe											Mittel- wert	
	Meßwerte / μm												
1	23	18	107	110	53	51	32	63	71	41	56,9		
2	122	117	110	116	156	161	146	139	220	92	137,9		
3	48	52	34	90	79	59	38	34	110	45	58,9		
4	151	155	207	197	181	144	158	176	121	124	161,4		
5	79	128	129	146	160	179	199	151	142	144	145,7		
6	165	149	174	183	215	234	239	302	298	241	220,0		
7	286	314	308	282	240	268	289	302	307	310	290,6		
Mittel- wert	124,86	133,29	152,71	160,57	154,86	156,57	157,29	166,71	181,29	142,43	153,06	=====	
s	88,18	94,49	87,64	66,22	67,95	81,40	96,45	104,94	94,29	100,38			
s _x	33,28	35,66	33,07	24,99	25,64	30,72	36,40	39,60	35,58	37,88			
s ² ges. = 1170,59												s _{ges.} = 34,21	

Kurve Nr. 1:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 7 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 153,057 μm

Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 1
(gleichmäßige Wandstärke)

Einbettmasse : Duroterm
(Kerneinbettung)

Gußmetall : Phantommetall

Gußkanal : 2,3 mm $\emptyset$, gerade, zentral auf dem
Kronendeckel angebracht.

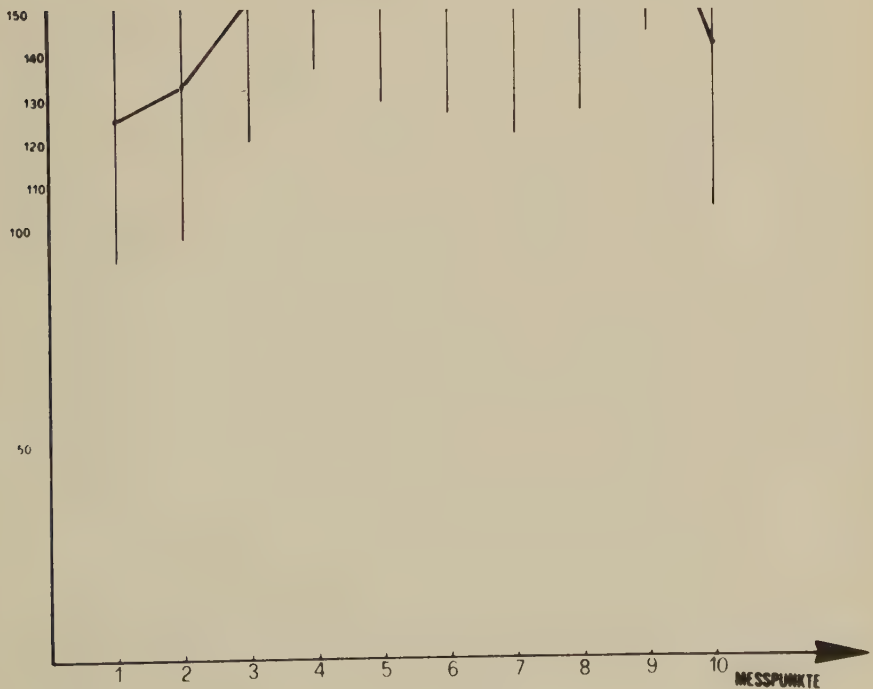


Tabelle 2: Kronenform: Stumpf Nr. 2 (mit planen Einführungen)
Einbettmasse: Duroterm (Kerneinbettung) Gußmetall: Phantometall
Gußkanal: 2,3 mm Ø, gerade, zentral auf dem Kronendeckel angebracht

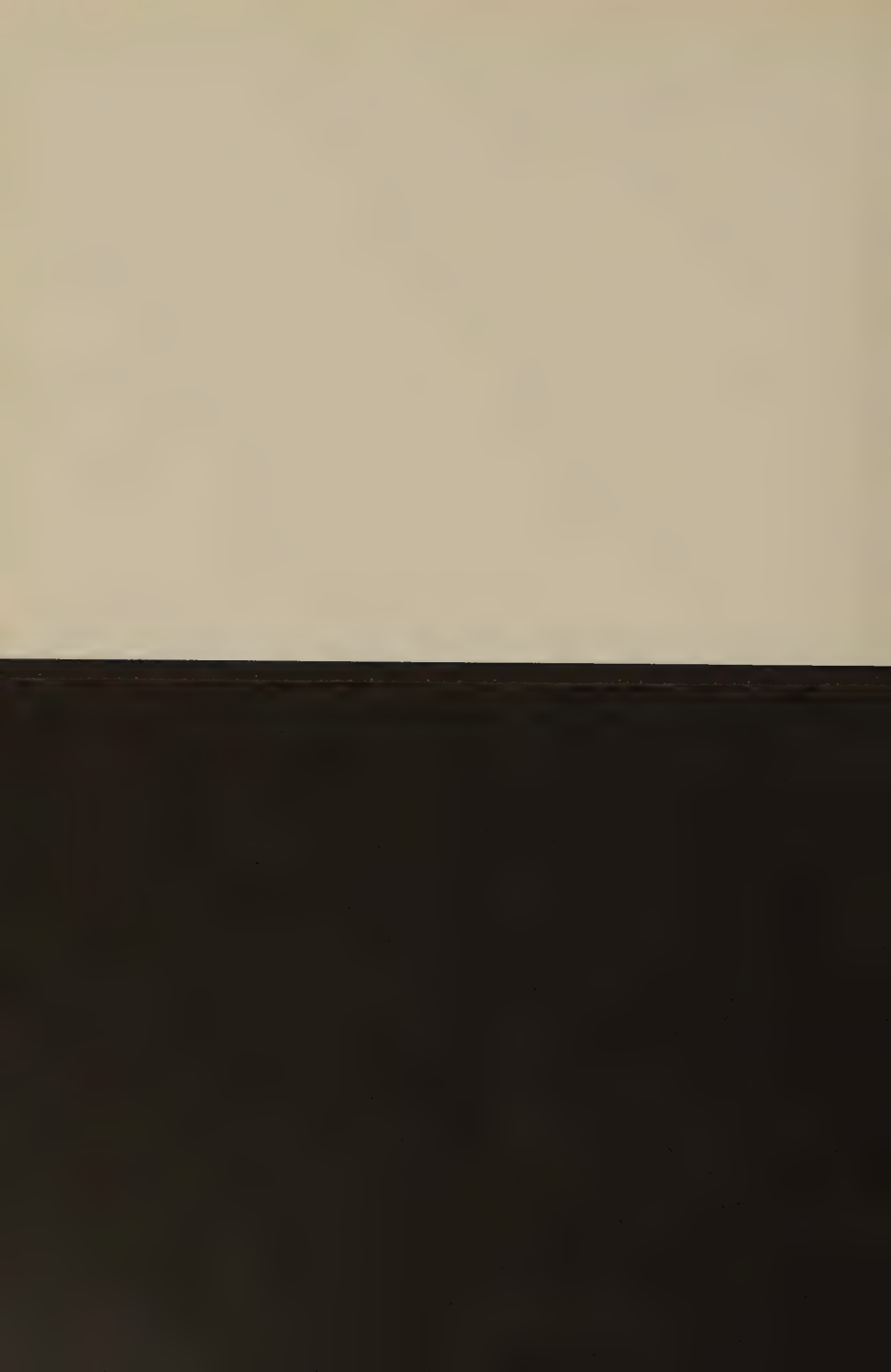
Krone Nr.	Zervikale Dehlszenz an der Stufe															Mittel- wert
	Meßwerte / µm															
1	307	323	368	369	378	335	398	336	365	326	350,5					
2	250	405	520	630	566	407	462	475	451	384	455,0					
3	365	325	383	436	327	349	344	461	437	378	380,5					
4	153	107	134	75	81	81	136	130	191	196	128,4					
5	138	186	234	232	237	191	223	218	166	133	195,8					
6	282	251	277	296	314	311	338	349	340	266	302,4					
7	207	180	316	342	332	316	328	286	263	237	280,7					
Mittel- wert	243,14	253,86	318,86	340,00	319,29	284,29	318,43	322,14	316,14	274,29	299,04					
s	82,63	103,54	122,56	172,23	146,13	110,73	108,37	124,25	113,12	94,00						
s _x	31,18	39,07	46,25	64,99	55,14	41,78	40,89	46,89	42,69	35,47						
s ² ges.	= 3149,23										s _{ges.} = 56,11					

Kurve Nr. 2:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 7 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 299,043 μm

- Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 2
(mit planen Einfräsungen über
den Meßpunkten 3 und 8)
- Einbettmasse : Duroterm
(Kerneinbettung)
- Gußmetall : Phantommetall
- Gußkanal : 2,3 mm $\emptyset$, gerade, zentral auf dem
Kronendeckel angebracht.



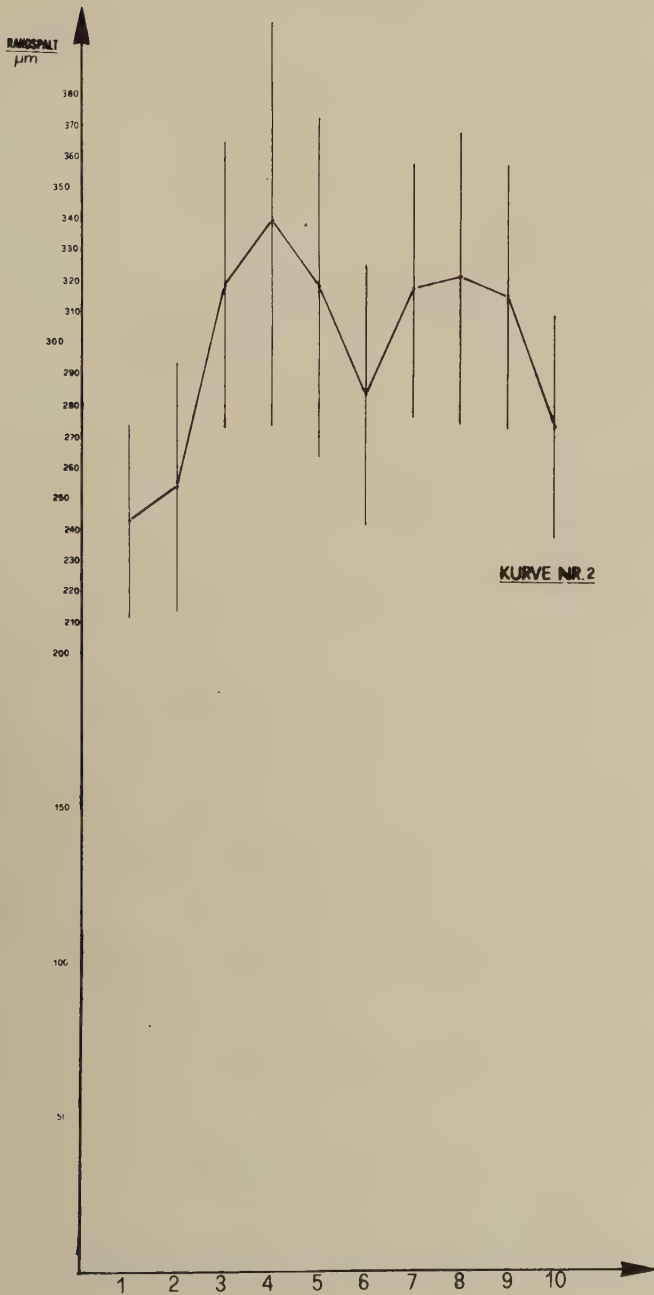


Tabelle 3: Kronenform: Stumpf Nr. 2 (mit halbrunden Einfürsungen)
 Einbettmasse: Duroterm (Kerneinbettung) Gubmetall: Phantometall
 Gußkanal: 2,3 mm Ø, gerade, zentral auf dem Kronendeckel angebracht

Krone Nr.	Zervikale Dehnung an der Stufe											Mittel- wert
	Meßwerte / µm											
1	199	229	208	180	135	213	176	130	128	133	173,1	
2	168	212	212	258	212	185	177	126	110	132	179,2	
3	20	150	137	150	147	79	109	177	95	32	109,6	
4	185	163	176	121	113	144	166	211	174	192	164,5	
5	169	168	213	198	106	105	174	154	173	145	160,5	
6	244	239	289	232	215	243	248	283	222	230	266,6	
7	266	258	273	265	244	284	297	304	207	286	266,6	
Mittel- wert	178,71	202,71	215,43	200,57	167,43	179,00	192,43	197,86	158,43	161,71	185,43	

s	79,30	42,25	52,45	54,40	55,25	74,18	61,28	71,66	48,56	77,12					
s ⁻ _x	30,92	15,94	19,79	20,53	20,85	27,94	23,12	27,04	18,32	29,10					
s ² ges.	= 1424,90		s _{ges.} = 37,74												

Kurve Nr. 3:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 7 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 185,429 μm

Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 3
(mit halbrunden Einfräsungen über
den Meßpunkten 3 und 8)

Einbettmasse : Duroterm
(Kerneinbettung)

Gußmetall : Phantommetall

Gußkanal : 2,3 mm $\emptyset$, gerade, zentral auf dem
Kronendeckel angebracht.

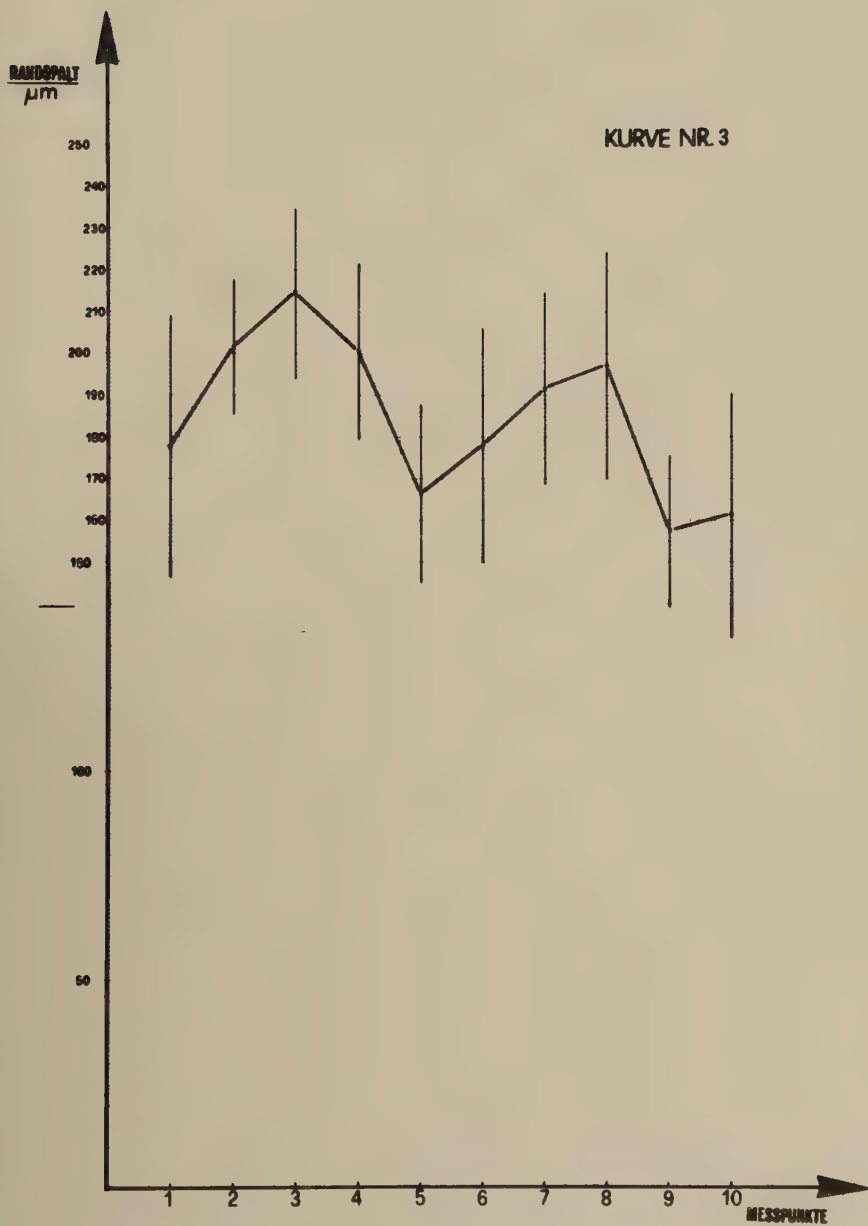


Tabelle 4: Kronenform: Stumpf Nr. 1 (gleichmäßige Wandstärke)

Einbettmasse: Deguvest HFG (Vakuumeinbettung) Gubmetall: Degulor M
Gubkanal: 2,3 mm Ø, gerade, zentral auf dem Kronendeckel angebracht.

Krone Nr.	Zervikale Dehnsenz an der Stufe											Mittel- wert	
	Meßwerte / µm												
1	41	26	15	24	34	40	17	13	12	11	23,3		
2	52	31	40	30	35	34	44	23	19	39	34,7		
3	41	29	52	53	41	25	32	18	45	26	36,2		
4	14	22	46	24	35	24	16	25	33	19	25,8		
5	35	29	35	52	22	57	56	42	39	26	39,3		
Mittel- wert	36,6	27,4	37,6	36,6	33,4	36,0	33,0	24,2	29,6	24,2	31,86 =====		
s	14,05	3,51	14,15	14,72	6,95	13,47	17,29	10,99	13,78	10,33			
s _x	6,27	1,57	6,32	6,57	3,10	6,01	7,72	4,91	6,15	4,61			
s ₂ ges.	= 123,86											s _{ges.} = 11,13	

Kurve Nr. 4:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 31,860 μm

- Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 1
(gleichmäßige Wandstärke)
- Einbettmasse : Deguvest HFG
(Vakuumeinbettung)
- Gußmetall : Degulor M
- Gußkanal : 2,3 mm $\emptyset$, gerade zentral auf dem
Kronendeckel angebracht.

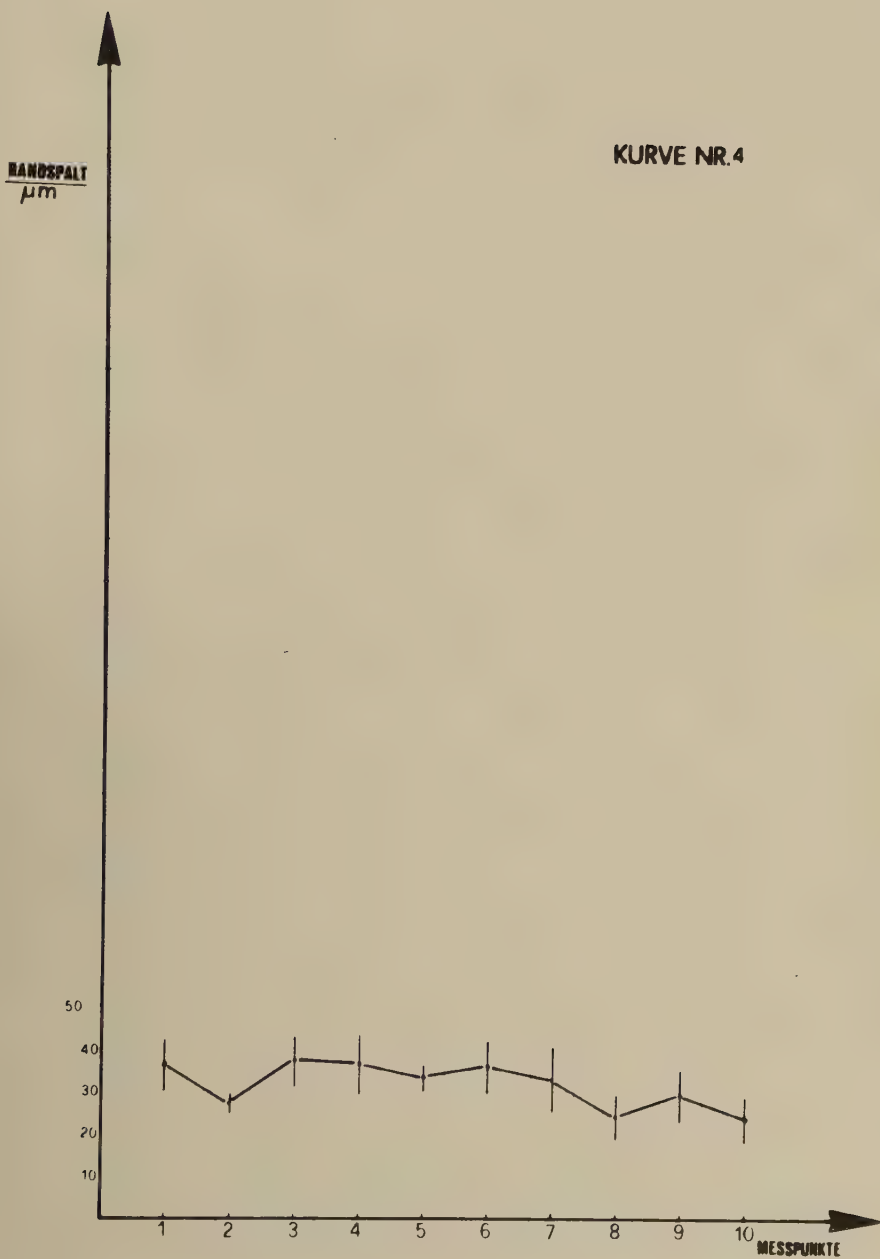


Tabelle 5: Kronenform: Stumpf Nr. 2 (mit planen Einführungen)

Einbettmasse: Deguvest HFG (Vakuumeinbettung) Gußmetall: Degulor M

Gußkanal: 2,3 mm Ø, gerade, zentral auf dem Kronendeckel angebracht

Krone Nr.	Zervikale Dehnsenz an der Stufe												Mittel- wert
	Meßwerte / µm												
1	98	112	113	143	102	118	96	129	141	114	116,6		
2	143	132	126	174	112	112	109	148	145	133	133,4		
3	95	203	176	124	166	158	161	187	197	106	157,3		
4	116	142	164	162	188	208	145	172	166	142	160,5		
5	128	147	189	228	201	127	145	209	164	95	163,3		
Mittel- wert	116,0	147,2	153,6	166,2	153,8	144,6	131,2	169,0	162,6	118,0	146,22	=====	

s 20,24 33,95 32,68 39,42 44,66 39,62 27,39 31,52 22,21 19,3

$\bar{x}$ 9,04 15,16 14,59 17,60 19,94 17,69 12,23 14,07 9,92 8,62

$s^2_{ges.} = 911,50$ $s_{ges.} = 30,19$

Kurve Nr. 5:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 146,220 μm

Kronenform	:	passend zu Stumpf Nr. 2 (mit planen Einfräsungen über den Meßpunkten 3 und 8)
Einbettmasse	:	Deguvest HFG (Vakuumeinbettung)
Gußmetall	:	Degulor M
Gußkanal	:	2,3 mm $\emptyset$, gerade, zentral auf dem Kronendeckel angebracht

KURVE NR. 5



Tabelle 6: Kronenform: Stumpf Nr. 3 (mit halbrunden Einfürsungen)
 Einbettmasse: Deguvest HFG (Vakuumeinbettung) Gußmetall: Degulor M
 Gußkanal: 2,3 mm Ø, gerade, zentral auf dem Kronendeckel angebracht

Krone Nr.	Zervikale Dehiszenz an der Stufe															Mittel- wert
	Mebwerte / µm															
1	190	55	81	246	237	328	320	342	261	223	228,3					
2	106	109	219	162	161	153	126	120	51	42	124,9					
3	158	176	169	153	116	104	81	55	59	100	117,1					
4	110	91	85	167	147	141	172	134	139	109	129,5					
5	160	222	241	121	75	62	163	154	180	172	155,0					
Mittel- wert	144,8	130,6	159,0	169,8	147,2	157,6	172,4	161,0	138,0	129,2	150,96					=====

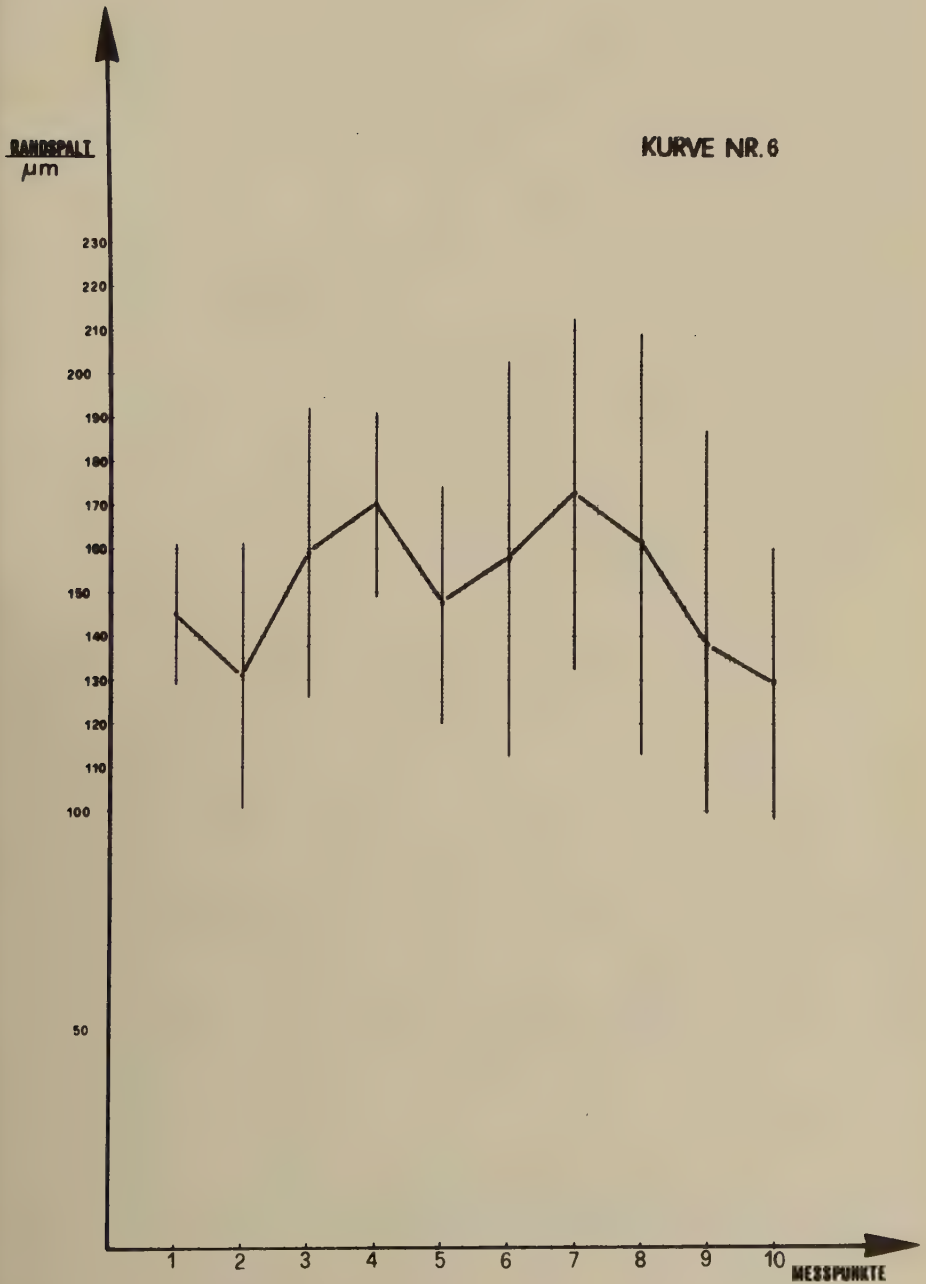
s 35,93 67,39 74,14 46,20 60,08 101,67 89,97 107,77 87,61 69,81
 s_x 16,04 30,08 33,10 20,63 26,82 45,39 40,17 48,11 39,11 31,17
 s² ges. = 3699,91 s_{ges.} = 60,82

Kurve Nr. 6:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 150,960 μm

- Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 3
(mit halbrunden Einfräsungen über
den Meßpunkten 3 und 8)
- Einbettmasse : Deguvest HFG
(Vakuumeinbettung)
- Gußmetall : Degulor M
- Gußkanal : 2,3 mm $\emptyset$, gerade, zentral auf dem
Kronendeckel angebracht



Kurve Nr. 7:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 45,840 μm

Kronenform	:	passend zu Stumpf 1 (gleichmäßige Wandstärke)
Einbettmasse	:	Deguvest HFG (Vakuumeinbettung)
Gußmetall	:	Phantommetall
Gußkanal	:	3 mm $\emptyset$, geschwungen, schräg angesetzt



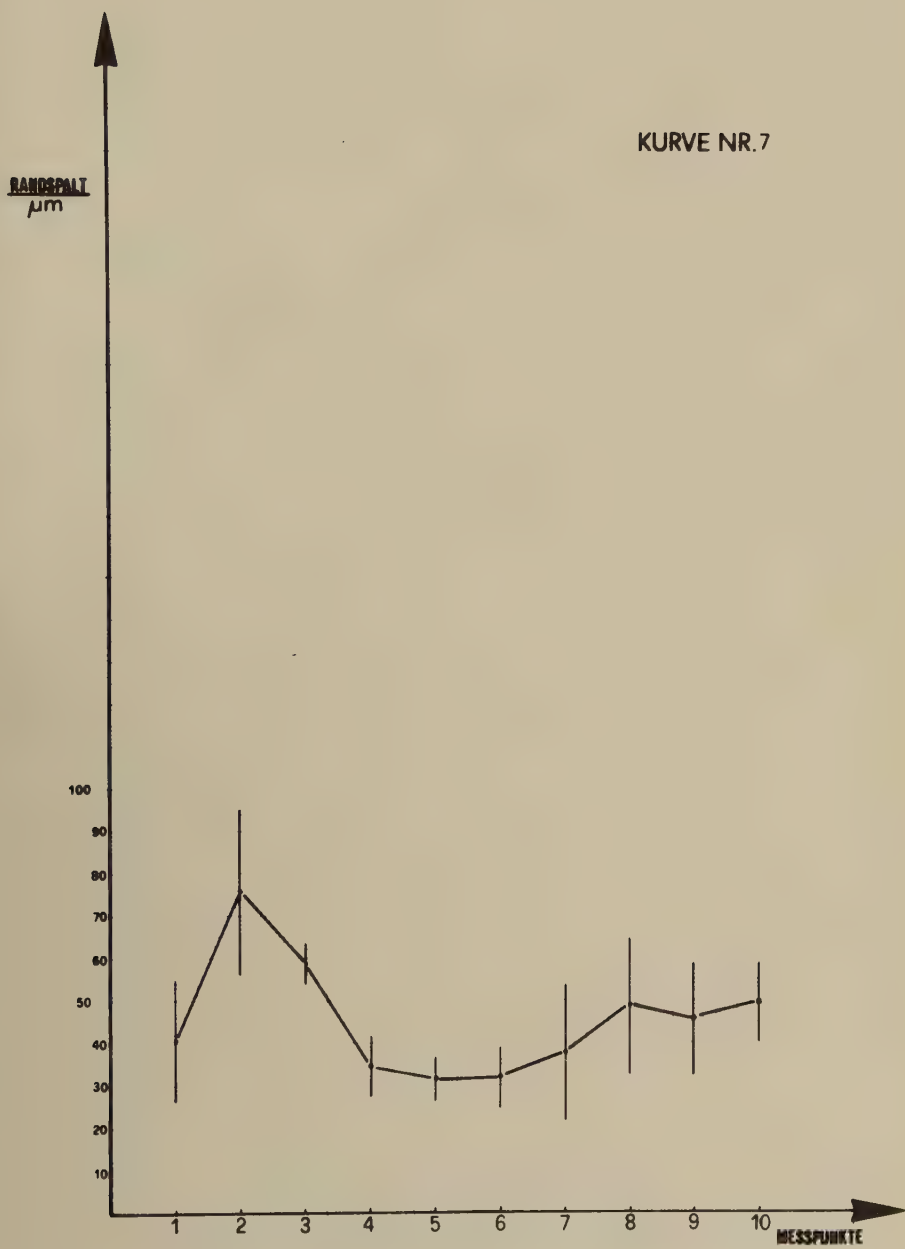


Tabelle 8: Kronenform: Stumpf Nr. 2 (mit planen Einführungen)
 Einbettmasse: Deguvest HFG (Vakuumeinbettung) Gußmetall: Phantommetall
 Gußkanäle: 2 Kanäle 3 mm Ø, geschwungen, schräg angesetzt

Krone Nr.	Zervikale Dehiszenz an der Stufe											Mittel- wert
	Meßwerte / μm											
1	101	53	32	41	21	32	94	69	47	98	58,8	
2	78	61	52	48	46	46	73	78	76	81	63,9	
3	58	58	36	70	33	35	25	19	40	51	42,5	
4	28	44	36	46	41	36	30	55	56	54	42,6	
5	11	20	16	33	22	31	34	35	22	15	23,9	

Mittel- wert	55,2	47,2	34,4	47,6	32,6	36,0	51,2	51,2	48,2	59,8	46,34	=====
-----------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------

s	36,47	16,51	12,84	13,79	11,15	5,96	30,57	24,23	19,93	31,73	
s _x	16,28	7,37	5,73	6,16	4,98	2,66	13,65	10,82	8,90	14,17	
s ² ges.	= 310,41		s _{ges.}		= 17,62						

Kurve Nr. 8:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

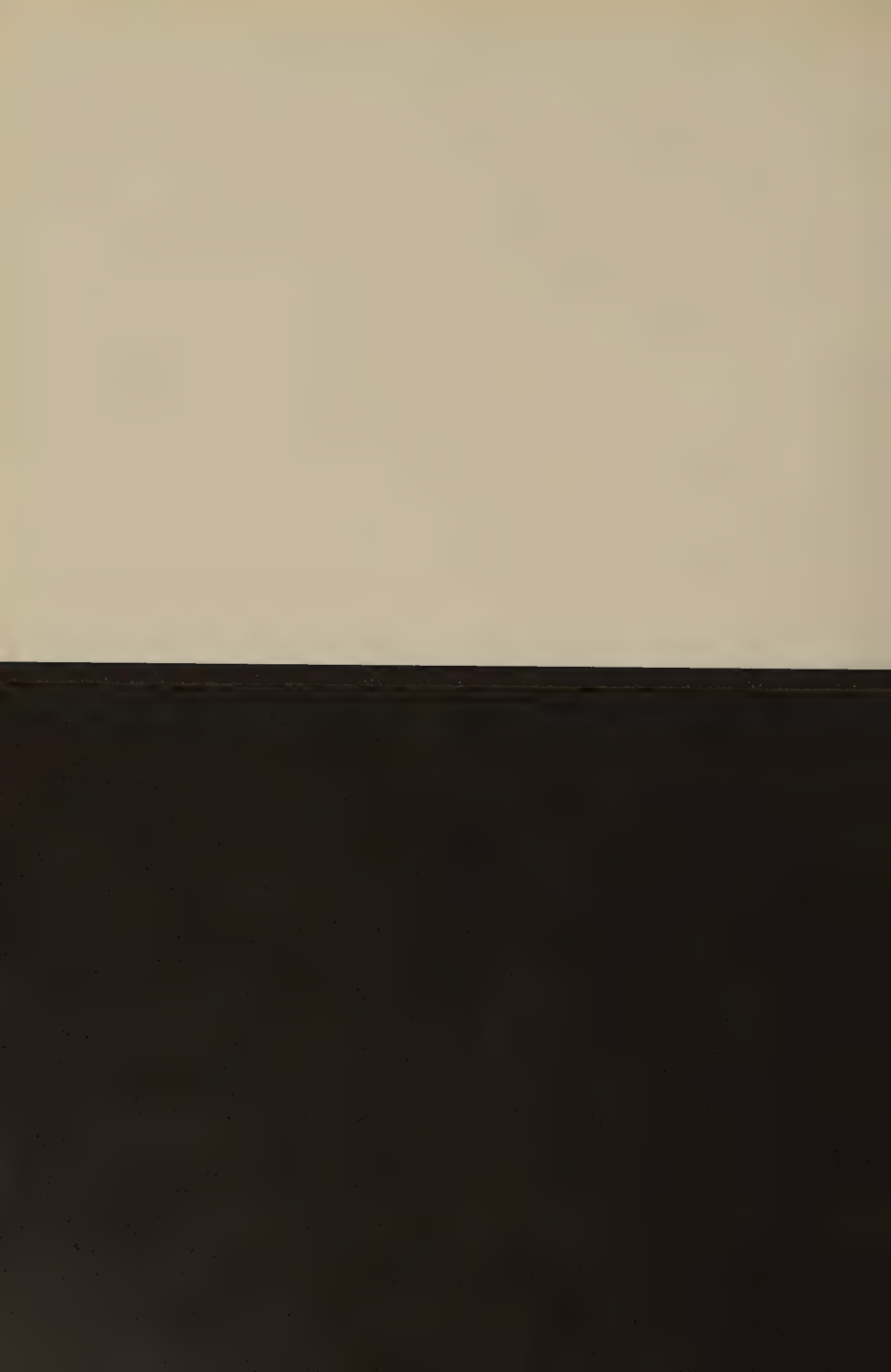
Gesamtmittelwert: 46,340 μm

Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 2
(mit planen Einfräsungen über
den Meßpunkten 3 und 8)

Einbettmasse : Deguvest HFG
(Vakuumeinbettung)

Gußmetall : Phantommetall

Gußkanäle : 2 Kanäle 3 mm $\emptyset$, geschwungen,
schräg angesetzt



KURVE NR. 8

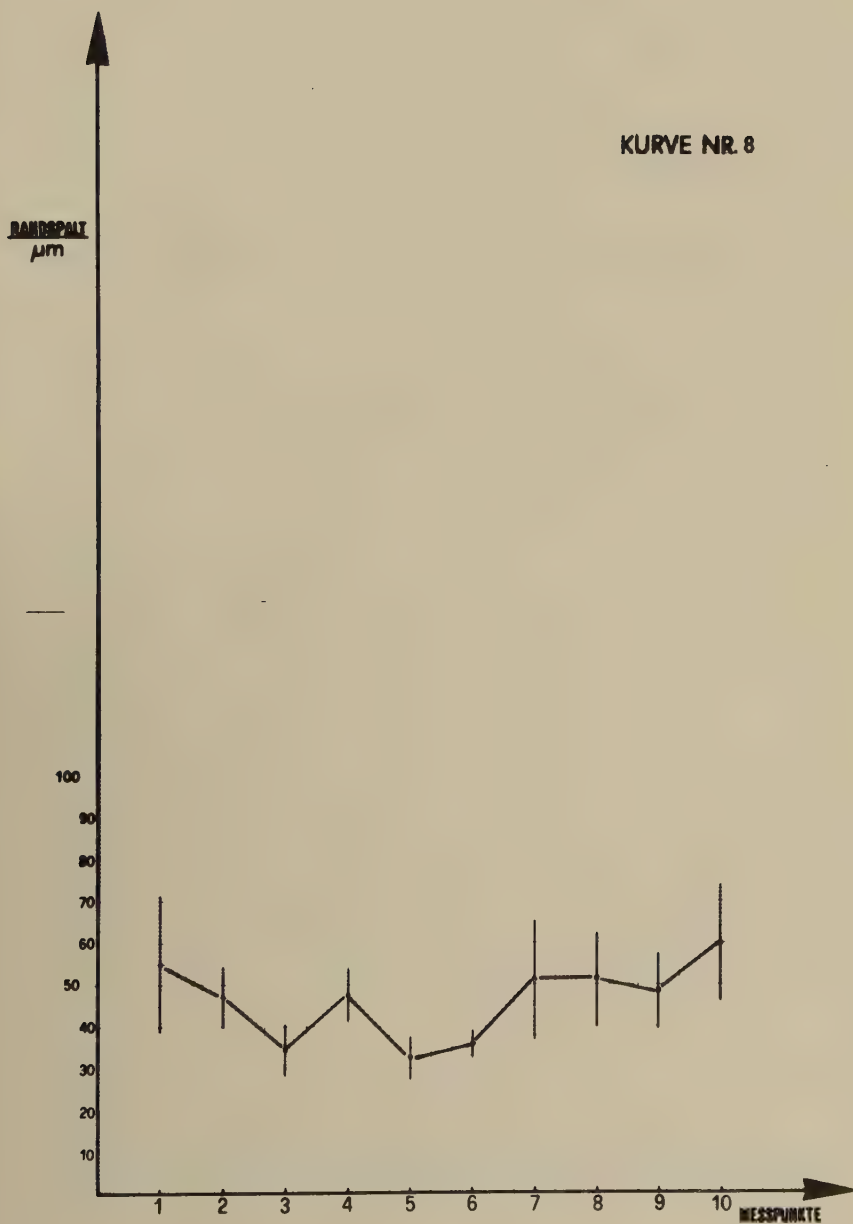


Tabelle 9: Kronenform: Stumpf Nr. 3 (mit halbrunden Einführungen)
 Einbetmasse: Deguvest HFG (Vakuumeinbettung) Gußmetall: Phantometall
 Gußkanäle: 2 Kanäle 3 mm Ø, geschwungen, schräg angesetzt

Krone Nr.	Zervikale Dehizensz an der Stufe										Mittel- wert
	Meßwerte / µm										
1	65	50	27	36	54	40	40	83	140	139	67,4
2	52	54	74	72	81	85	37	26	26	23	53,0
3	22	54	85	112	141	93	26	28	54	47	66,2
4	18	18	13	29	28	47	20	16	14	13	21,6
5	23	22	34	47	75	88	48	20	28	45	43,0
Mittel- wert	36,0	39,6	46,6	59,2	75,8	70,6	34,2	34,6	52,4	53,4	50,24

s 21,13 18,02 31,21 33,73 41,95 25,03 11,19 27,47 51,10 49,99
 s_x 9,43 8,04 13,93 15,06 18,73 11,17 5,00 12,26 22,81 22,32
 $s^2_{ges.} = 904,67$ $s_{ges.} = 30,08$

Kurve Nr. 9:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 50,240 μm

Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 3
(mit halbrunden Einfräsungen über
den Meßpunkten 3 und 8)

Einbettmasse : Deguvest HFG
(Vakuumeinbettung)

Gußmetall : Phantommetall

Gußkanäle : 2 Kanäle 3 mm $\varnothing$, geschwungen,
schräg angesetzt



KURVE NR.9

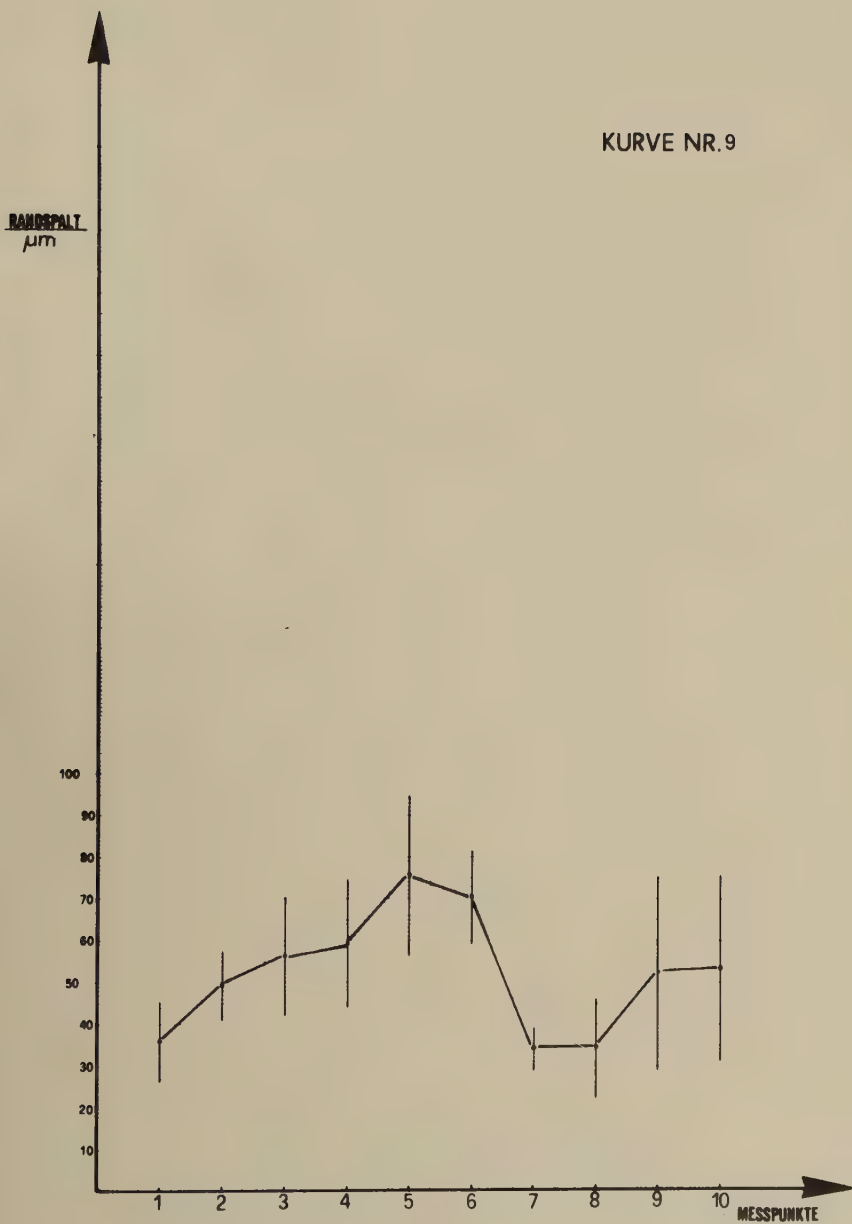


Tabelle 10: Kronenform: Stumpf Nr. 1 (gleichmäßige Wandstärke)

Einbettmasse: Deguvest HFG (Vakuumeinbettung) Gußmetall: Degulor M
 Gußkanal: 3 mm $\varnothing$, geschwungen, schräg angesetzt

Krone Nr.	Zervikale Dehnsenz an der Stufe											Mittel- wert
	Meßwerte / μ m											
1	31	5	57	20	14	39	12	22	16	18	23,4	
2	51	70	23	34	63	37	12	22	18	21	35,1	
3	32	28	6	16	8	33	36	25	18	12	21,4	
4	24	32	20	31	11	9	12	10	18	15	18,2	
5	30	13	12	17	22	28	22	36	12	16	20,8	
Mittel- wert	33,6	29,6	23,6	23,6	23,6	29,2	18,8	23,0	16,4	16,4	23,78 =====	
S	10,21	25,11	19,83	8,32	22,63	12,05	10,55	9,27	2,61	3,36		
S $\bar{x}$	4,56	11,21	8,85	3,71	10,10	5,38	4,71	4,14	1,17	1,50		
S $^2_{ges.}$	= 178,02											S $_{ges.}$ = 13,34

Kurve Nr. 10:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 23,780 μm

Kronenform	:	passend zu Stumpf Nr. 1 (gleichmäßige Wandstärke)
Einbettmasse	:	Deguvest HFG (Vakuumeinbettung)
Gußmetall	:	Degulor M
Gußkanal	:	3 mm $\emptyset$, geschwungen, schräg angesetzt

RAHDEPALT
 μm

KURVE NR. 10

100

50

40

30

20

10

1

2

3

4

5

6

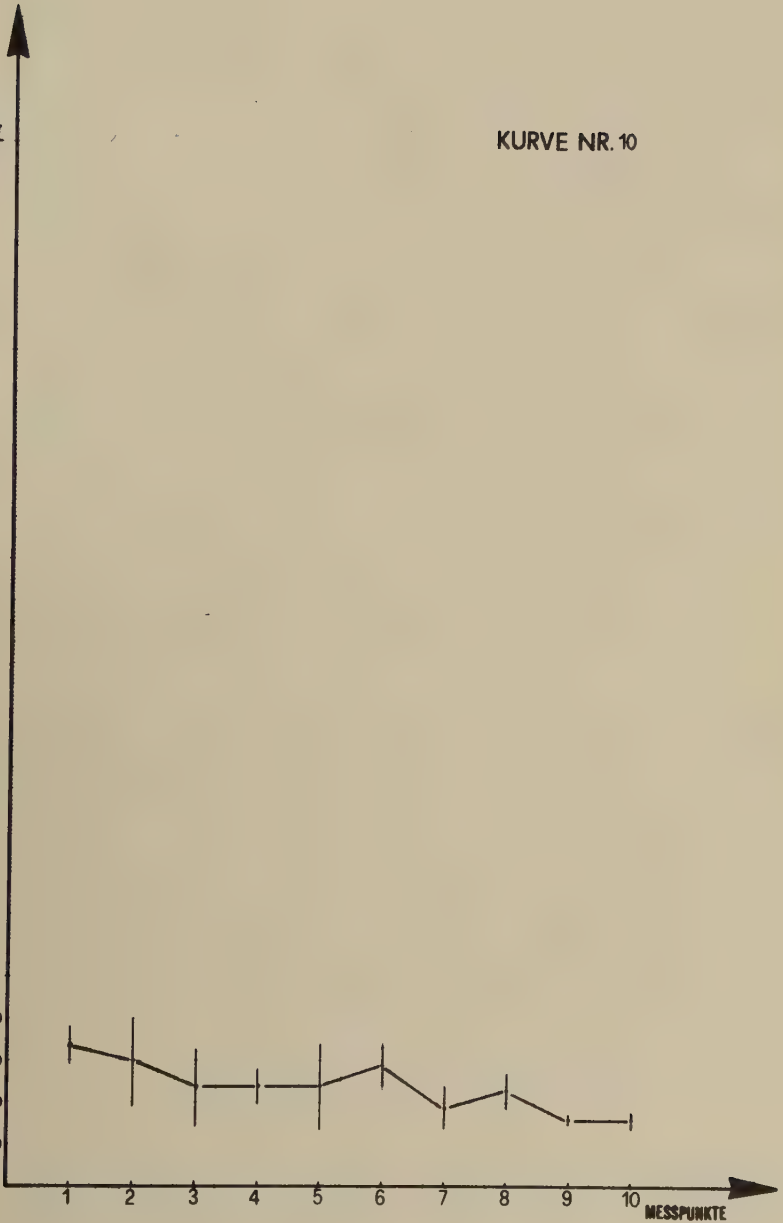
7

8

9

10

MESSPUNKTE



Kurve Nr. 11:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 53,060 μm

Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 2
(mit planen Einfräsungen über
den Meßpunkten 3 und 8)

Einbettmasse : Deguvest HFG
(Vakuumeinbettung)

Gußmetall : Degulor M

Gußkanäle : 2 Kanäle 3 mm $\varnothing$, geschwungen,
schräg angesetzt

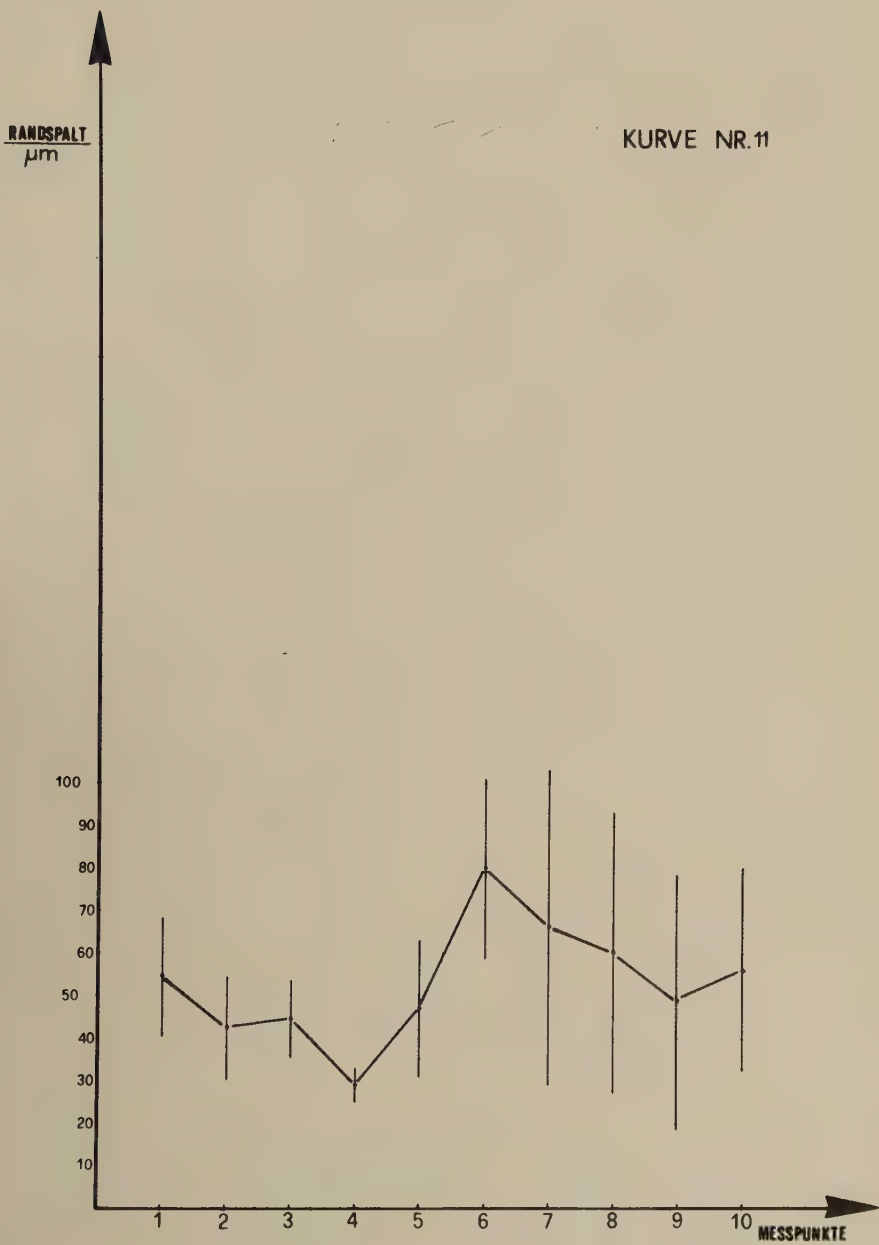


Tabelle 12: Kronenform: Stumpf Nr. 3 (mit halbrunden Einführungen)
 Einbettmasse: Deguvest HFG (Vakuumeinbettung) Gußmetall: Degulor M
 Gußkanäle: 2 Kanäle 3 mm Ø, geschwungen, schräg angesetzt

Krone Nr.	Zervikale Dehnseuz an der Stufe											Mittel- wert
	Meßwerte / µm											
1	35	41	28	56	117	117	103	79	52	30	65,8	
2	15	37	37	83	24	19	48	16	14	39	33,2	
3	32	41	42	50	50	47	48	44	42	33	42,9	
4	12	31	48	43	48	32	18	9	15	18	27,4	
5	78	85	76	83	101	43	37	35	36	42	61,6	
Mittel- wert	34,4	47,0	46,2	63,0	68,0	51,6	50,8	36,6	31,8	32,4	46,18	
=====												

S 26,39 21,63 18,20 18,83 39,21 38,14 31,65 27,57 16,80 9,34
 S_x 11,78 9,66 8,13 8,41 17,50 17,03 14,13 12,31 7,50 4,17
 $s^2_{ges.} = 523,04$ $s_{ges.} = 22,87$

Kurve Nr. 12:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)

Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meßpunkten.

Gesamtmittelwert: 46, 180 μm

Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 3
(mit halbrunden Einfräsungen über
den Meßpunkten 3 und 8)

Einbettmasse : Deguvest HFG
(Vakuumeinbettung)

Gußmetall : Degulor M

Gußkanäle : 2 Kanäle 3 mm $\varnothing$, geschwungen,
schräg angesetzt



RANDSPALT
 μm

KURVE NR. 12

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

MESSPUNKTE

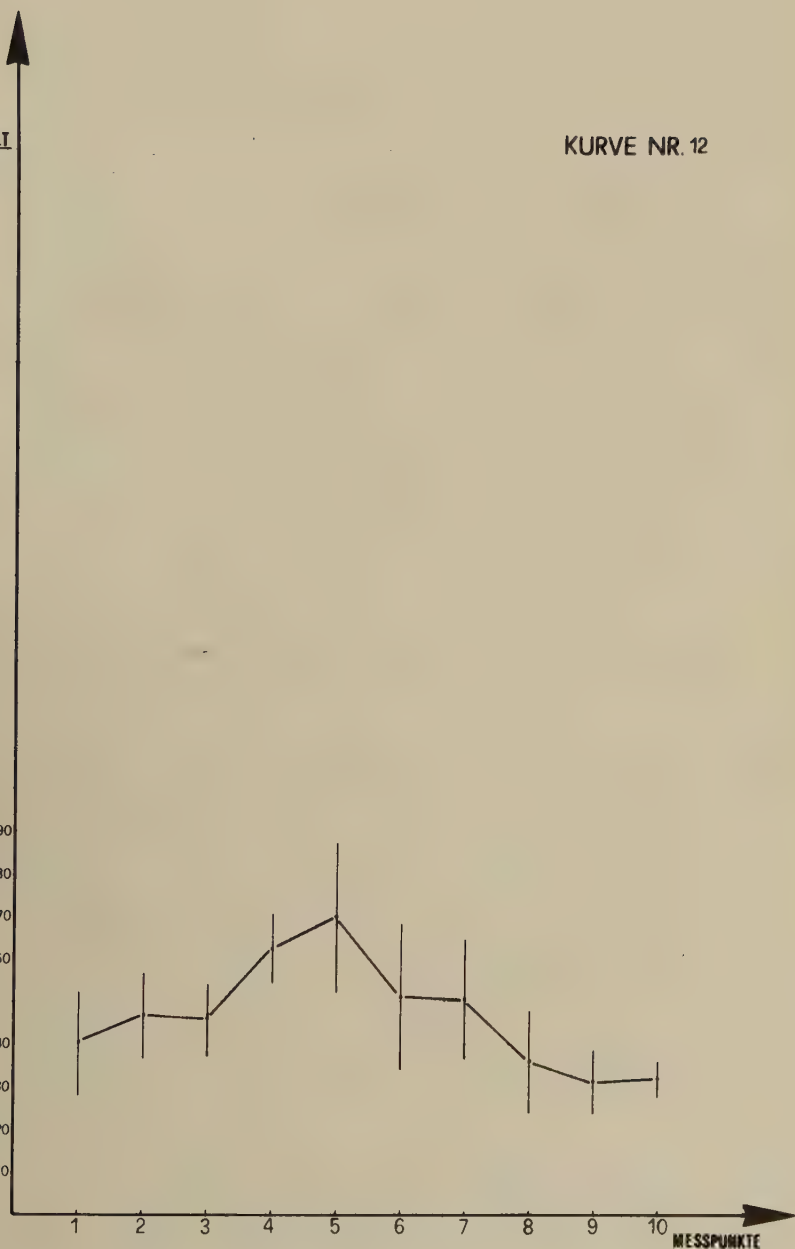


Tabelle 13: Kronenform: Stumpf Nr. 2 (mit planen Einführungen)
Einbettmasse: Deguvest HFG (Vakuumeinbettung) Gußmetall: Phantometall
Gußkanäle: 2 Kanäle 3 mm Ø, geschwungen, schräg an dünnen Wänden angesetzt

Krone Nr.	Zervikale Dehnsenz an der Stufe																Mittel- wert
	Meßwerte / µm																
1	47	64	49	19	13	26	72	13	25	28	35,6						
2	87	77	112	118	124	104	142	116	108	120	110,8						
3	122	187	73	19	50	83	66	21	51	64	73,6						
4	288	262	259	341	183	205	212	211	253	218	243,2						
5	31	47	62	46	90	90	74	53	15	21	52,9						
Mittel- wert	115,0	127,4	111,0	108,6	92,0	101,6	113,2	82,8	90,4	90,2	103,22						=====
s	103,01	93,13	86,01	136,08	65,79	64,99	63,35	82,34	97,80	81,49							
s _x	45,99	41,58	38,40	60,75	29,37	29,01	28,28	36,76	43,66	36,38							
s ₂ ges.	= 1236,20																
	s _{ges.} = 35,16																

Kurve Nr. 13:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 103,220 μm

Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 2
(mit planen Einfräsungen über
den Meßpunkten 3 und 8)

Einbettmasse : Deguvest HFG
(Vakuumeinbettung)

Gußmetall : Phantommetall

Gußkanäle : 2 Kanäle 3 mm $\varnothing$, geschwungen,
schräg an den dünnen Wänden angesetzt

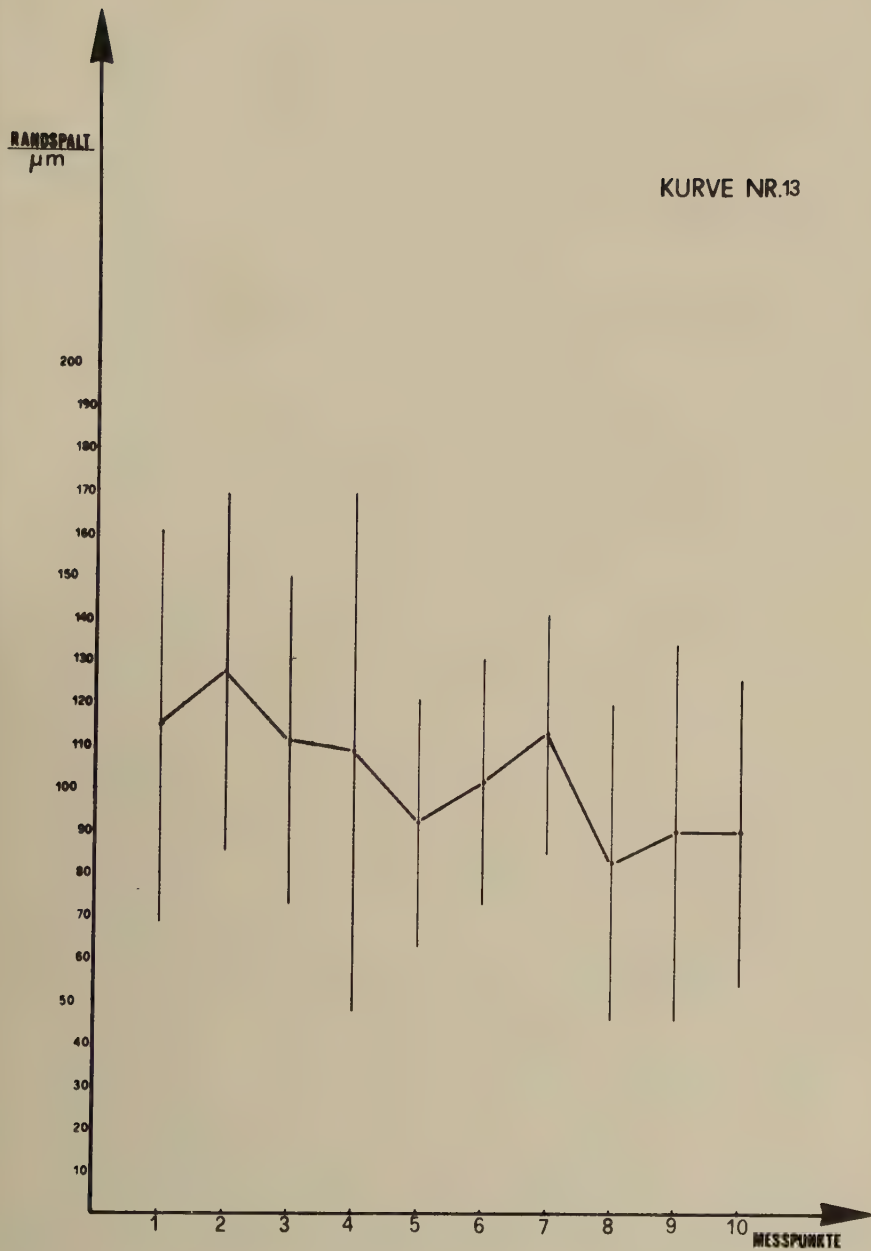


Tabelle 14: Kronenform: Stumpf Nr. 3 (mit halbrunden Einfürsungen)

Einbettmasse: Deguvest HFG (Vakuumeinbettung) Gußmetall: Phantometall

Gußkanäle: 2 Kanäle 3 mm Ø, geschwungen, schräg an dünnen Wänden angesetzt

Krone Nr.	Zervikale Dehiszenz an der Stufe														Mittel- wert
	Meßwerte / µm														
1	63	62	21	72	111	132	143	111	148	82	94,5				
2	196	126	98	115	96	48	43	26	61	203	101,2				
3	66	44	45	49	127	60	51	42	24	80	58,8				
4	43	77	141	115	153	100	38	21	29	53	77,0				
5	74	55	37	62	105	87	88	98	90	61	75,7				
Mittel- wert	88,4	72,8	68,4	82,6	118,4	85,4	72,6	59,6	70,4	95,8	81,44				=====
s	61,22	32,06	49,82	30,68	22,40	33,28	43,97	41,97	50,89	61,19					
s _x	27,33	14,31	22,24	13,70	10,00	14,86	19,63	18,74	22,72	27,32					
s ₂ ges.	= 1797,42										s _{ges.}	= 42,39			

Kurve Nr. 14:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert aus 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 81,440 μm

Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 3
(mit halbrunden Einfräsungen über
den Meßpunkten 3 und 8)

Einbettmasse : Deguvest HFG
(Vakuumeinbettung)

Gußmetall : Phantommetall

Gußkanäle : 2 Kanäle 3 mm $\varnothing$, geschwungen,
schräg an den dünnen Wänden angesetzt

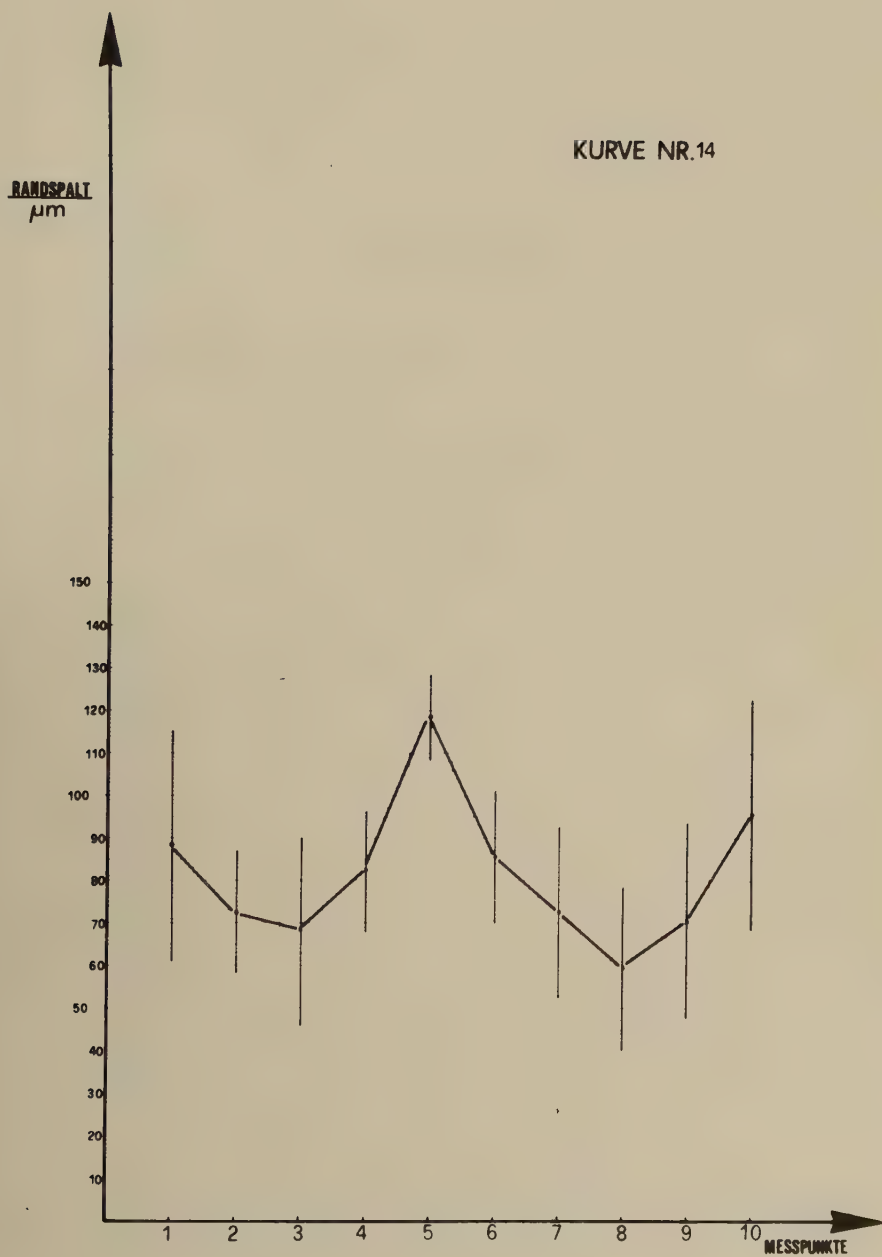


Tabelle 15: Kronenform: Stumpf Nr. 2 (mit planen Einfürsungen)

Einbettmasse: Deguvest HFG (Vakuumeinbettung) Gußmetall: Degulor M

Gußkanäle: 2 Kanäle 3 mm Ø, geschwungen, schräg an dünnen Wänden angesetzt

Krone Nr.	Zervikale Dehiszenz an der Stufe																Mittel- wert
	Meßwerte / µm																
1	40	48	57	30	38	27	28	43	64	62	43,7						
2	25	31	29	44	33	29	41	30	61	42	36,5						
3	31	26	58	70	21	14	37	56	31	43	38,7						
4	17	24	50	35	39	54	21	17	25	27	30,9						
5	29	33	39	44	35	31	36	40	23	28	33,8						
Mittel- wert	28,4	32,4	46,6	44,6	33,2	31,0	32,6	37,2	40,8	40,4	36,72						====
s	8,41	9,45	12,42	15,42	7,22	14,47	8,02	14,62	20,05	14,22							
s _x	3,75	4,22	5,54	6,88	3,22	6,46	3,58	6,53	8,95	6,35							
s ₂ ges.	= 167,45																
	s _{ges.} = 12,94																

Kurve Nr. 15:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenran
Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 36,720 μm

Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 2
(mit planen Einfräsungen über
den Meßpunkten 3 und 8)

Einbettmasse : Deguvest HFG
(Vakuumeinbettung)

Gußmetall : Degulor M

Gußkanäle : 2 Kanäle 3 mm $\emptyset$, geschwungen,
schräg an den dünnen Wänden angesetzt

KURVE NR. 15

RANDSPALT
 μm

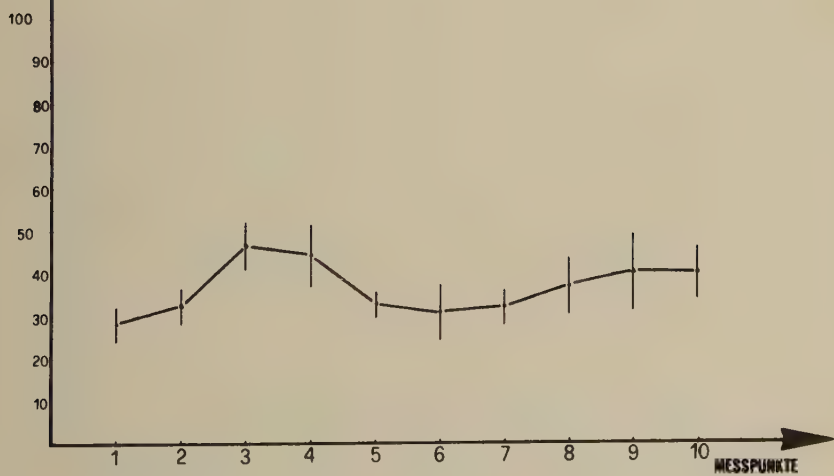


Tabelle 16:

Kronenform: Stumpf Nr. 3 (mit halbrunden Einfürsungen)

Einbettmasse: Deguvest HFG (Vakuumeinbettung) Gußmetall: Degulor M

Gußkanäle: 2 Kanäle 3 mm Ø, geschwungen, schräg an dünnen Wänden angesetzt

Krone Nr.	Zervikale Dehiszenz an der Stufe											Mittel- wert	
	Meßwerte / µm												
1	32	51	64	50	19	28	38	76	35	26	41,9		
2	71	55	82	60	68	59	82	47	62	74	66,0		
3	29	25	85	69	74	46	30	27	18	72	47,5		
4	28	45	68	60	55	48	50	83	64	56	55,7		
5	19	53	77	58	50	44	45	79	75	59	55,9		
Mittel- wert	35,8	45,8	75,2	59,4	53,2	45,0	49,0	62,4	50,8	57,4	53,4	=====	
s	20,27	12,21	8,98	6,77	21,42	11,14	19,92	24,37	23,51	19,23			
s _x	9,05	5,45	4,01	3,02	9,56	4,97	8,89	10,88	10,50	8,58			
s _{ges.}	= 327,08											s _{ges.} = 18,09	

Kurve Nr. 16:

Zervikale Dehiszenz (Spalt zwischen Stufe und Kronenrand)
Mittelwert von 5 Versuchskronen an den einzelnen Meß-
punkten.

Gesamtmittelwert: 53,400 μm

Kronenform : passend zu Stumpf Nr. 3
(mit halbrunden Einfräsungen über
den Meßpunkten 3 und 8)

Einbettmasse : Deguvest HFG
(Vakuumeinbettung)

Gußmetall : Degulor M

Gußkanäle : 2 Kanäle 3 mm $\emptyset$, geschwungen,
schräg an den dünnen Wänden angesetzt



c) Auswertung der Meßwerte

Wie aus den Tabellen 1 - 16 schon zu erkennen ist, wurden zur Verdeutlichung der Meßergebnisse und zur Kennzeichnung der Fehler folgende Werte ausgerechnet:

(alle Formeln nach SACHS⁴¹)

$$1) \quad \bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

arithmetisches Mittel aus allen Zeilen und Spalten und Gesamtmittelwert $\bar{x}_{\text{ges.}}$ aus jeder Tabelle.

$$2) \quad s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

die Standardabweichung des Mittelwertes (auch "mittlerer Fehler des Mittelwertes" genannt) von allen Spalten. Dieser Wert dient zur Fehlerkennzeichnung der Mittelwerte.

$$3) \quad s^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}$$
$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

die Standardabweichung der Spalten sowie die Varianz und Standardabweichung einer jeden Tabelle ($s_{\text{ges.}}^2$ bzw. $s_{\text{ges.}}$). An Hand dieser Werte bekommt man Aufschluß darüber, wie groß die Streuungen innerhalb der einzelnen Grundgesamtheiten sind.

Bei der graphischen Darstellung der Versuchsergebnisse wurden die gemittelten Spaltbreiten an den jeweiligen Meßpunkten auf der Ordinate und die Meßpunkte auf der Abszisse eines Koordinatenkreuzes aufgetragen. Als Fehlerbalken wurden die Standardabweichungen der Mittelwerte eingezeichnet.

Bei der Betrachtung der Kurven aus den Versuchen mit Kronen mit unterschiedlich dicken Wänden schien uns in allen Fällen ein annähernd wellenförmiger Verlauf gegeben zu sein. Die Maxima befinden sich in der Nähe der Meßpunkte 3 und 8 (s. Kurve Nr. 2, 3, 5, 6, 13, 14, 15 und 16). Dieses bedeutet, daß regelmäßig der Randschluß der Kronen an den verdickten Wänden schlechter ist als an den dünnen Wänden.

Zur Nachprüfung dieser Hypothese wurde mit Unterstützung des Institutes für medizinisch-biologische Statistik und Dokumentation der Philipps-Universität Marburg durch das Universitätsrechenzentrum ein varianzanalytischer Vergleich der Mittelwerte aus den Spalten aller Tabellen durchgeführt. Da die Modellstümpfe und Kronen symmetrisch sind und deshalb im Versuch an den gegenüberliegenden verdickten bzw. dünneren Wandungen gleiche zervikale Dehiszenzen zu messen sein müßten, wurden zur Vergrößerung des statistischen Materials die Werte der vergleichbaren Meßpunkte, d.h. die Ergebnisse der Meßpunkte 1 und 10, 2 und 9, 3 und 38 usw., zusammengefaßt.

Unter Zugrundelegung eines Signifikanzniveaus von

$\alpha = 0,05$ (d.h. einer 5 %-igen Irrtumswahrscheinlichkeit, SACHS⁴¹) ergaben sich nur folgende Unterschiede zwischen den Spalten der Tabellen:

- 1.) Bei der Tabelle 2, d.h. bei den Kronen, die aus Phantommetall mit einem dünneren Gußkanal und Kerneinbettung mit Duroterm hergestellt worden sind, besteht ein signifikanter Unterschied der gemittelten Ergebnisse der Meßpunkte 1 und 10 (dünne Kronenwandung) zu den Ergebnissen der Punkte 4 und 7 (Nähe der dickeren Wandung).
- 2.) Bei der Versuchsreihe 5, d.h. bei den Kronen, die aus Degulor M mit einem dünneren Gußkanal und der Vakuumeinbettung mit Deguvest HFG hergestellt worden sind, ist ein Unterschied zwischen den gemittelten Ergebnissen der Meßpunkte 1 und 10 (dünne Kronenwandung) und den Ergebnissen der Punkte 3 und 8 (dickere Wandung) nachzuweisen.

Im übrigen konnten keine signifikanten Differenzen der Mittelwerte nachgewiesen werden, was u.U. auf eine zu geringe Zahl von Meßwerten zurückzuführen ist.

Zum Vergleich der wichtigsten Werte aus allen Versuchen siehe Tabelle 17, Seite 80 a.

d) Zusätzliche Ergebnisse aus den Versuchen

Außer dem vermessenen Randschluß der Versuchskronen gab es noch augenscheinliche Auffälligkeiten an den Kronen.

Erstens waren bei den Kämpchen, die mit dünneren Gußkanälen (2,3 mm Ø) gegossen worden waren, am Ansatzpunkt der Kanäle in manchen Fällen große Sauglunker zu beobachten. Diese befanden sich einerseits in den Gußobjekten selbst, wodurch diese für die Praxis unverwertbar werden, andererseits sind diese Lunkerstellen in gußstücknahen Teilen der Gußkanäle zu finden, so daß dann die Kanäle mit geringem Kraftaufwand kurz über dem Gußstück abgebrochen werden konnten. Foto 4 zeigt zwei solcher Kronen, bei denen der lunkerige Gußkanal mit bloßem Auge zu erkennen ist bzw. der Kanal abgebrochen werden konnte.



Foto 4: Zwei Kronen mit lunkerhaften Gußkanälen

Zweitens konnte die Beobachtung gemacht werden, daß die Kronen, die mit Hilfe der Vakuumeinbettung hergestellt worden waren, eine wesentlich glattere Oberfläche aufwiesen als die Kronen, bei denen die Schichtkerneinbettmethode angewendet wurde. Dieses ist an den in Foto 5 gezeigten Kronen besonders deutlich zu erkennen. Die Rauhgigkeiten entstehen bei der Kerneinbettung besonders an der Außenfläche, da dort eine gleichmäßige Konsistenz und eine starke Verdichtung der Einbettmasse schwer zu erreichen ist.



Foto 5: Ein Kämpchen, das mit Hilfe der Vakuumeinbettung hergestellt worden ist (links), im Vergleich zu einem, bei dem die Schichtkerneinbettmethode angewendet wurde. (Beide aus Phantommetall gegossen)

Außerdem war zu erkennen, daß die Kronen aus Degulor M deutlich schärfere Ränder hatten als jene aus Phantommetall, was auf ein besseres Ausfließen der Gußform bei der Goldlegierung schließen läßt.

e) Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Zur vergleichenden Übersicht über die Versuchsergebnisse sind die wichtigsten Werte aus den Tabellen 1 - 16 in der Tabelle 17 zusammengefaßt.

Wenn wir die von uns definierte "klinische Präzision", d.h. eine Randspaltbreite von 20 bis 50 μm , zugrundelegen, so müssen wir feststellen, daß alle Kronen, die mit Hilfe der Kerneinbettung mit Duroterm-Einbettmasse und dünnen Gußkanälen (2,3 mm $\varnothing$) hergestellt worden waren, eine völlig unzureichende Paßgenauigkeit haben. Die Kronen sind alle entschieden zu eng, wodurch bei den Kronen mit gleichmäßiger Wandstärke ein mittlerer Randspalt von 153,1 μm und bei denen mit verdickten, ungleichmäßigen Wänden von 299,0 bzw. 185,4 μm entstand. Außerdem mußten wir Lunker und die weniger glatte Oberfläche der Versuchskronen bemängeln.

Nachdem wir dann die Einbettmasse und die Einbettmethode gewechselt hatten (Vakuumeinbettung mit Deguvest HFG), zeigten wenigstens die gleichmäßig dicken Kronen guten Sitz (mittlerer Randspalt 31,9 μm). Die Kronen, die zu den Stümpfen Nr. 2 und 3 angefertigt worden waren, wiesen immer noch einen Randspalt von 146,2 bzw. 151,0 μm Breite auf.

Bei weiteren Versuchen wurden die Gußkanäle auf ein Kaliber von 3,0 mm erweitert und entsprechend neuerer Empfehlungen bogenförmig geführt. Wir konnten feststellen, daß alle Kronen einschließlich denen mit unterschiedlichen Wandstärken gute Passung hatten, und daß die gemessenen Randspalten innerhalb des Idealbereichs von 20 bis 50 μm Breite lagen bzw. diesem Bereich sehr nahe kamen.

Tabelle 17:

Tabelle 1/1						Werte						
Versuchsreihe Nr.		Versuchsstumpf Nr.		Gußkanal $\varnothing$ mm	Ansatzpunkte der Kanäle	Einbettmasse	Gußmetall		Gesamtmittel- wert / μ m	Varianz aller Werte	Standardabwei- chung aller Werte	Signifikante Differenzen der Spalten in Tab. 1-16
1	1	2,3	zentral oben	Duroterm	Phantom.	153,057	1170,594	34,21	keine			
2	2	2,3	zentral oben	Duroterm	Phantom.	299,043	3149,227	56,11	1/10 gegen 4/7			
3	3	2,3	zentral oben	Duroterm	Phantom.	185,429	1424,900	37,74	keine			
4	1	2,3	zentral oben	Deguvest	Deg. M	31,860	123,855	11,13	keine			
5	2	2,3	zentral oben	Deguvest	Deg. M	146,220	911,498	30,19	1/10 gegen 3/8			
6	3	2,3	zentral oben	Deguvest	Deg. M	150,960	3699,915	60,82	keine			
7	1	3,0	oben schräg	Deguvest	Phantom.	45,840	737,412	27,15	keine			
8	2	3,0	oben schräg	Deguvest	Phantom.	46,340	310,406	17,62	keine			
9	3	3,0	oben schräg	Deguvest	Phantom.	50,240	904,675	30,08	keine			
10	1	3,0	oben schräg	Deguvest	Deg. M	23,780	178,020	13,34	keine			
11	2	3,0	oben schräg	Deguvest	Deg. M	53,060	1271,462	35,66	keine			
12	3	3,0	oben schräg	Deguvest	Deg. M	46,180	523,042	22,87	keine			
13	2	3,0	an dünner W.	Deguvest	Phantom.	103,220	1236,196	35,16	keine			
14	3	3,0	an dünner W.	Deguvest	Phantom.	81,440	1797,416	42,39	keine			
15	2	3,0	an dünner W.	Deguvest	Deg. M	36,720	167,449	12,94	keine			
16	3	3,0	an dünner W.	Deguvest	Deg. M	53,400	327,075	18,09	keine			

Es bleibt hierzu noch festzustellen, daß einerseits das in der Praxis nicht verwendbare Phantommetall, andererseits die Kronen mit ungleichen Wandstärken die schlechteren Ergebnisse lieferten.

Als wir nun die Gußkanäle entgegen den Vorschriften bei den Stümpfen mit Wandverdickungen an den dünnen Wänden anbrachten, mußten wir feststellen, daß zwar die Goldkronen aus Degulor M mit Randspalten von durchschnittlich 36,7 bzw. 53,4 μm noch gut paßten, bei Verwendung von Phantommetall jedoch überschritten die Spaltbreiten die zulässigen Maße (103,2 bzw. 81,4 μm Breite des Spaltes).

f) Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuche zeigen deutlich, welche Faktoren für das Gelingen einer zahnärztlichen Gußarbeit bestimmend sind.

Welche Bedeutung hierbei die Einbettmasse und die Einbettmethode hat, zeigen die ersten drei Versuchsreihen, die mit Duroterm-Einbettmasse und der Schicht-Kerneinbettmethode hergestellt worden waren, im Vergleich zu den Versuchsreihen 4 bis 6, bei denen eine Vakuumeinbettung mit Deguvest HFG durchgeführt worden war. Die Kerneinbettung lieferte nicht nur deutlich schlechtere Paßgenauigkeit, sondern auch die raue Oberfläche der Gußstücke ist ein Nachteil. Die Deguvest HFG-Einbettmasse lieferte entschieden bessere Gußergebnisse. Auch die Vorteile der Vakuumeinbettung bezüglich der Oberflächenglätte der Gußobjekte waren augenscheinlich.

Die Wichtigkeit ausreichend dicker Gußkanäle für den Erfolg einer Gußarbeit wurde durch die weiteren Versuche mit gebogenen Gußkanälen von 3 mm Durchmesser bewiesen. Die Paßgenauigkeit wurde noch einmal deutlich verbessert, vor allen Dingen bei den Versuchskronen mit unterschiedlichen Wandstärken (1 bis 2,5 mm). Die Kronen mit gleichmäßiger Wandstärke lieferten bei dieser Gußmethode, die im Prinzip der sogenannten Degussa-Präzisionsgußmethode entspricht, Ergebnisse, die man durchaus ideal nennen darf.

Es wird sich nie sauber trennen lassen, ob schlechte Paßgenauigkeit einer Vollgußkrone auf eine mangelhaft

kompenzierte Erstarrungsschrumpfung oder auf die Festkörperkontraktion zurückzuführen ist, weil beides sehr eng zusammenwirkt. Durch unsere Versuchsergebnisse läßt sich feststellen, daß die gerichtete Erstarrung eine größere Bedeutung hat als ihr bisher beigemessen wurde. Es wurde auch der Beweis erbracht, daß eine gerichtete Erstarrung der Gußobjekte Gußkanäle voraussetzt, die dem Volumen der Gußstücke angemessen sein müssen, und die auch entsprechend der Form und den besonderen Eigenarten des Stückes angebracht sein sollen. Daß Kronen mit dickeren Wandungen, die also ein größeres Volumen haben, entsprechend dickere Gußkanäle benötigen, zeigen die Versuchsreihen 5 und 6 (2,3 mm Ø Gußkanäle bei verdickten Kronenwandungen) im Vergleich zu den Reihen 11 und 12 (3,0 mm Ø Gußkanäle). Daß die 2,3 mm dicken Gußkanäle kein ausreichendes Nachspeisen während der Erstarrungsphase gewährleisten, zeigen auch die auffallenden Lunker und Fehlstellen, die beschrieben worden sind. Dagegen hat die Frage, wo man die Gußkanäle anbringt, eine untergeordnete Bedeutung, wie die Versuchsreihen 13 bis 16 zeigen.

Als letzter Punkt zur Erzielung exakter Präzisionsgüsse muß das Gußmetall genannt werden, denn es besteht auch in Hinsicht auf den Randspalt ein Unterschied im Gußverhalten zwischen Phantommetall und der Degulor M-Legierung. Dieses ist aber für die Praxis ohne weitere Bedeutung, weil das Phantommetall sowieso nur für Übungsarbeiten verwendet werden kann.

Wenn wir uns das Ergebnis der Varianzanalyse noch einmal betrachten, so stellen wir fest, daß eine Verbreiterung des Randspaltes durch die Masse der dicken Wandungen nur bei zu dünnen Gußkanälen und damit schlechter Speisung des Gußstückes gegeben ist. Außerdem zeigten sich nur bei den Kronen, die für den Prüfkörper Nr. 2 hergestellt worden waren, signifikante Differenzen der Mittelwerte, da die planen Einfräsungen im Gegensatz zu den halbrunden das größere Volumen haben, und sich der geringere Rauminhalt der halbrunden Wandverdickungen noch nicht in so hohem Maße auf das Kontraktionsverhalten der Gußlegierung auswirkt.

Darüber hinaus ist es physikalisch erklärlich, daß die Schwindungen am Gußstück volumensabhängig sind.

Darauf weist auch SCHMEISSNER⁴² hin, der, ohne genauere Untersuchungen anzuführen, rein empirisch das Hohllegen von Kronen fordert, um die Masse des Metalls zu verringern. Auch BONSACK³ empfiehlt in diesem Zusammenhang die Anwendung von Wachsbohrern.

Für die Praxis ist also die Degussa-Präzisionsmethode zur Erzielung bester Gußarbeiten zu empfehlen. Diese Erfahrung teilen wir mit BRETTHAUER⁵, dem es auch gelang - wenn auch mit einer etwas geänderten Gußmethode und unter einer anderen Problemstellung - nach den Anweisungen des DEGUSSA-BRIEFES Nr. 42¹⁰ Kronen mit einer Spaltbreite zwischen Präparationsstufe des Stumpfes und dem Kronenrand von unter 50 μm herzustellen. Wohingegen ELSNER-HAHN¹⁷, die auch die zervikale Dehiszenz an Vollgußkronen gemessen hat, vor wenigen Jahren (1969) nur Spaltbreiten von über 90 μm messen konnte.

Es muß aber nochmals darauf hingewiesen werden, daß die Genauigkeit der Kronen mit unregelmäßiger Form und unterschiedlich dicken Wänden auch bei Anwendung bester Gußmethoden schlechter war als bei den Vergleichskronen mit gleichmäßigen Wandstärken. Es muß deshalb unsere Aufgabe sein, in der Praxis jene Methoden anzuwenden, die möglichst gleichmäßige Formen und Wandstärken bei Kronen ermöglichen.

III. Zusammenfassung

In der Arbeit wird zuerst ein Überblick über die Entstehung, Entwicklung und den heutigen Stand der zahnärztlichen Gußtechnik gegeben. Dabei wird deutlich, daß bei der Lösung des Gußproblems in neuerer Zeit erhebliche Fortschritte gemacht wurden.

Besondere Bedeutung hat dabei die genauere Erforschung des Verhaltens der Metallschmelze beim Gießvorgang und nach dem Guß bei der Erstarrung und dem Erkalten des Metalls. Von den drei Kontraktionsphasen, die dabei auftreten, der Flüssigkeitskontraktion, der Erstarrungskontraktion und der Festkörperkontraktion, bedürfen die beiden letztgenannten beim Metallguß eines Ausgleichs, um Gußfehler zu vermeiden.

Die Erstarrungskontraktion versucht man durch eine sogenannte "gerichtete Erstarrung" auszugleichen.

Die Festkörperkontraktion wird bei der zahnärztlichen Gußtechnik durch die Einbettmasse ausgeglichen, die beim Abbinden und beim Vorwärmen der Gußform expandiert.

Im experimentellen Teil der Arbeit wandten wir uns einem Problem zu, das jeder Zahnarzt wohl schon aus der Praxis kennt. Die Erfahrungstatsache, daß Vollgußkronen mit unregelmäßigen Formen und unterschiedlich dicken Wänden einen schlechteren Sitz haben, wurde untersucht und konnte durch unsere Versuche bestätigt werden. Bei starkem Volumensunterschied der Wände der Kronen und einem durch dünne Gußkanäle mangelhaften Nachspeisen der Gußobjekte konnte sogar mit Signifikanz nachgewiesen werden, daß die Breite des Randspaltes der Versuchskronen an den dünnen Wänden geringer ist als an den dickeren

Wandungen. Bei Anwendung eines modernen Gußverfahrens - wir haben uns an das Degussa-Präzisionsgußsystem gehalten - konnten wir feststellen, daß dieses noch unter den erschwerten Bedingungen unserer Versuchskronen mit unterschiedlichen Wandstärken sehr gute Ergebnisse lieferte. Als besonders wichtiger Faktor zur Erzielung einer guten Gußarbeit haben sich dabei genügend dicke Gußkanäle (für eine Vollgußkrone 3 mm Ø) erwiesen, die an der oder den dicksten Stellen des Gußstückes angebracht sein müssen. Auch mit der Vakuumeinbettung haben wir gute Erfahrungen gemacht.

Trotzdem muß darauf hingewiesen werden, daß die Paßgenauigkeit der Kronen mit unregelmäßiger Form stets schlechter war als die von Vergleichskronen mit gleichmäßigen und dünnen Wänden.

IV. Literaturverzeichnis

- 1.) BEEK, K.-H.: Prüfungsergebnisse zahnärztlicher
Gußverfahren und ihre praktische
Auswertung
Dtsch.zahnärztl.Z.13,470-480
(1958)
- 2.) BINUS, W. und G.DEUTRICH: Wege zur Verbesserung der
Paßgenauigkeit zahnärztlicher
Gußobjekte
Dtsch.Stomat.23,484-490
(1973)
- 3.) BOLOURI, A. und R.MARXKORS: Experimentelle Unter-
suchungen über die Veränderung der
Rauhtiefe des Urmodells bei der
Anfertigung eines Gußstückes
Dtsch.zahnärztl.Z.24,1023-1029
(1969)
- 4.) BONSACK, CH.: Der heutige Stand des Gußproblems
Dtsch.zahnärztl.Z.8,5-16 und 67-81
(1953)
- 5.) BRETHAUER, J.: Ein Vorschlag zur Verbesserung des
Randschlusses von Vollgußkronen
Med.Diss. Marburg 1973
- 6.) BRUNHUBER, E.: Gießerei - Lexikon
Fachverlag Schiele & Schön GmbH
Berlin (1972)
- 7.) DABER, R.: Die Anwendung der Kupferring-
Wachsabdruckmethode zur Herstellung
von Präzisionsgüssen in der zahn-
ärztlichen Prothetik
Med.Diss. Marburg 1955

- 8.) DEGUSSA: Degussa-Brief Nr. 30
Herausgeber: Fa. Degussa GB Dental
Frankfurt/Main
(Juli 1960)
- 9.) DEGUSSA: Degussa-Brief Nr. 39
Herausgeber: Fa. Degussa GB Dental
Frankfurt/Main
(April 1968)
- 10.) DEGUSSA: Degussa-Brief Nr. 42
Herausgeber: Fa. Degussa GB Dental
Frankfurt/Main
(Dezember 1972)
- 11.) DREYER-JØRGENSEN, K.: Prüfungsergebnisse zahnärztlicher
Gußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 461-469
(1958)
- 12.) DREYER-JØRGENSEN, K.: Praktische Anleitungen in
odontologischer Technologie für
Klinik und Laboratorium
Quintessenz 18, Ref. Nr. 3036,
Heft 4, 37-42 und Heft 6, 37-46
(1967)
- 13.) EICHNER, K.: Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe
(Herausgeber) und ihrer Verarbeitung
2. Auflage
Berlinische Verlagsanstalt GmbH
Berlin (1967)
- 14.) EICHNER, K.: Der Kronenrand und das marginale
Parodontium aus klinischer Sicht
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 741-750
(1969)
- 15.) EICHNER, K. und R. VOSS: Der Kronenrand
(Aufzeichnung einer Diskussion
vom 16. und 17.1.1971 in Mainz)
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 742-757
(1971)

- 16.) EINFELDT, H.: Paßgenauigkeit gegossener
Metallarbeiten
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 1087-1093
(1969)
17. ELSNER-HAHN, W.: Ein Vergleich des indirekten
Verfahrens mit dem neuen labor-
gerechten Verfahren für den
Präzisionsguß von Edelmetallen
Med.Diss. Marburg 1969
- 18.) ENDELL, K. und U. HOFFMANN: Über vergleichende
röntgenoptische und dilatometrische
Untersuchungen an Einbettmassen
Zahnärztl. Rdsch. 37, Spalte 1478-1488
(1934)
- 19.) ENGLER, S.: Das Volumendefizit bei der Er-
starrung metallischer Schmelzen
Z. f. Metallk. 56, 327-335
(1965)
- 20.) FLAUMENHAFT, E.: Kritische Betrachtungen über das
Gußproblem in der Zahnheilkunde
Med.Diss. Köln 1959
- 21.) GAUSS, F. G.: Vierstellige logarithmische und
trigonometrische Tafeln
Formelsammlung (Tafel XVI)
Herausgeber: GOBBIN, H. H.
301.-310. Auflage
Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart
(1964)
- 22.) GRASSL, J.-F.: Verbesserung der Oberfläche von
Güssen durch Netzmittel und
Vakuumeinbettung
Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 1057-1065
(1954)

- 23.) GREVE,K.: Über die Entwicklung der Metallgußverfahren in der Zahnheilkunde
Dtsch.zahnärztl.Wschr.XXV,533-538
(1922)
- 24.) HEIBACH,TH.: Zur Frage der Abhängigkeit der Erstarrungskontraktion von der Form
beim Kronenringguß
Med.Diss. Marburg 1959
- 25.) INGRAHAM,R., R.W.BASSETT und J.R.KOSER: Der Goldguß
Verlag "Die Quintessenz",
Berlin (1968)
- 26.) JANKE,G.: Gußfüllungen nach dem Kupfer-
ring-Wachsabdruck-Modellguß-
verfahren
Dtsch.zahnärztl.Z.10,1789-1791
(1955)
- 27.) JANKE,G.: Ein neues laborgerechtes Verfahren
für den Präzisionsguß von Edel-
metallen
Dtsch.Zahnärztebl.21,413-421
(1966)
- 28.) JANKE,G.: Zur Frage der Filmdicke von
Befestigungszementen
Dtsch.zahnärztl.Z.25,1061-1064
(1970)
- 29.) KNAPP,J.: Über die Abhängigkeit der Paß-
genauigkeit gegossener Kronen-
ringe von den vorgegebenen Massen
Med.Diss. Marburg 1969
- 30.) KNAPPWOST,A.: Über das thermische Expansions- und
Kontraktionsverhalten von Dental-
legierungen und Einbettmassen und
deren Beziehungen zur Sekundärkaries
Zahnärztl.Welt 4,523-527
(1949)

- 31.) KÖNSGEN, W.: Die Paßgenauigkeit von Kronen-
ringen bei der Vakuumeinbettung
Med.Diss. Marburg 1956
- 32.) KOERBER, K.-H. und P.LENZ: Beitrag zum Problem der
Randgestaltung von Ersatzkronen
Zahnärztl.Welt 69,440-445
(1968)
- 33.) KYSELOVA, J., B.KYSELA und J.MARES: Kontraktions-
defekte der Dentalgüsse und
Möglichkeiten ihrer Beseitigung
Dtsch.zahnärztl.Z.13,1310-1319
(1958)
- 34.) MARX, H.: Über den Einfluß des Gußverfahrens
auf die Poren- und Lunkerbildung
Dtsch.zahnärztl.Z.22,1228-1235
(1967)
- 35.) MAVES und LASATER: (J.Amer.dent.Ass.Nr.4/1932 und
4/1940)
zitiert bei:
BONSACK, CH.: Der heutige Stand
des Gußproblems
Dtsch.zahnärztl.Z.8, Seite 8
(1953)
- 36.) MOELLER, K.-P.: Beitrag zur Klassifikation von
Gußfehlern bei zahnärztlichen
Metallarbeiten
Med. Diss. Berlin 1963
- 37.) ORBAN, B.: Die Expansionsgußtechnik
Z.Stomat.XXVIII,9-17
(1930)
- 38.) PRENZ, D.: Untersuchungen über die Veränderungen
der Einbettmassen im Vakuum
Dtsch.Stomat.14,241-262
(1964)

- 39.) REHBERG, H.-J.: Exakter Randschluß - was ist das?
Dtsch.zahnärztl.Z.26,696-699
(1971)
- 40.) ROSENZWEIG, M.: Bemerkungen zur Expansionsguß-
technik
Z.Stomat.XXVIII,1107-1112
(1930)
- 41.) SACHS, L.: Statistische Auswertungsmethoden
3. Auflage
Springer Verlag, Berlin - Heidel-
berg - New York
(1972)
- 42.) SCHMEISSNER, H.: Die gebräuchliche und eine modi-
fizierte Herstellungsart der
gegossenen Metallvollkrone
Dtsch.Zahnärztebl.20,309-315
(1966)
- 43.) SKINNER, E.W. und F.DEGNI: Hygroskopie expansion
of dental investments
J.Amer.dent.Ass.54,603-608
(1957)
- 44.) STRAUSS, P.: Experimentelle Untersuchungen zu
den Grundlagen des zahnärztlichen
Präzisionsgusses
Med.Diss. Erlangen - Nürnberg 1968
- 45.) VEST, G.: Lehrbuch der zahnärztlichen
Kronen- und Brückenprothetik
Band 1
Birkhäuser-Verlag
Basel (1951)
- 46.) VOLLAND und PFAFFENBERGER: zitiert bei:
BONSACK, CH.: Der heutige Stand
des Gußproblems
Dtsch.zahnärztl.Z.8,Seite 6
(1953)

- 47.) VOSS,R.: Zu speziellen Fragen der Guß-
technik
Dtsch.zahnärztl.Z.22,1220-1227
(1967)
- 48.) WAGNER,E.: Beitrag zum Präzisionsguß-
verfahren
Dtsch.zahnärztl.Z.22,1215-1220
(1967)
- 49.) WEIKART,P.: Werkstoffkunde für Zahnärzte
4. Auflage
Carl Hanser Verlag
München (1966)

Mein Dank gebührt allen, die mir bei der Durchführung der Versuche und der Abfassung der Arbeit behilflich waren.

Besonders möchte ich mich bei meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr.med.dent. G. Janke, für die Überlassung des Themas, manche Anregungen sowie für die Übernahme des Referates bedanken.

Auch Herrn Prof. Dr.rer.nat. P. Ihm sei an dieser Stelle gedankt für die Beratung und Unterstützung in allen statistischen Fragen und die Übernahme des Correferates.

Nicht zuletzt sei auch hier die Firma Degussa, Frankfurt am Main erwähnt, die mir technische Informationen überließ sowie freundlicherweise das Gußmetall sowie Einbettmasse und andere Materialien zur Verfügung stellte.

Lebenslauf

=====

Am 14. Dezember 1947 wurde ich, Günter Karl Lohmann, als zweiter Sohn des Fabrikanten Friedrich Lohmann und seiner Frau Elfriede, geb. Knäble, in Menden (Kreis Iserlohn) geboren.

Von Ostern 1955 bis Ostern 1959 besuchte ich die St.-Josef-Volksschule in Menden, anschließend ging ich bis Frühjahr 1965 zur Städtischen Realschule meiner Heimatstadt. Ab 1965 war ich Schüler des Aufbauzuges für Realschulabsolventen am Wilhelm-Hittorf-Gymnasium in Münster/Westfalen, wo ich im Juli 1967 das Zeugnis der Reife erhielt.

Zum Wintersemester 1967/68 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Philipps-Universität in Marburg an der Lahn, wo ich nach dem Wintersemester 1968/69 die naturwissenschaftliche und nach dem Sommersemester 1970 die zahnärztliche Vorprüfung bestanden habe. Nach dem Wintersemester 1972/73 legte ich vor dem Prüfungsausschuß in Marburg das zahnärztliche Staatsexamen ab und erhielt am 18. Juli 1973 meine Approbation als Zahnarzt. Ab 7. Januar 1974 leiste ich meinen Grundwehrdienst als Zahnarzt bei der Bundeswehr.

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die dem Fachbereich Humanmedizin der Philipps-Universität Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel:

"Zur Frage der Paßgenauigkeit zahnärztlicher Gußobjekte in Abhängigkeit von der Form - Untersuchungen an Vollgußkronen mit ungleichen Wandstärken"

in der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität Marburg unter Leitung von Herrn Prof. Dr.med.dent. G. Janke mit Unterstützung durch Herrn Prof. Dr.rer.nat. P. Ihm, Direktor des Institutes für medizinisch-biologische Statistik und Dokumentation, ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keinem in- und ausländischen Fachbereich Humanmedizin ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Marburg a.d.Lahn, den 15.11.1973

Günter Wolmann

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten an der Philipps-Universität in Marburg a.d. Lahn:

Amon, Aurich, Bernhard, Dimroth, Engelhardt, Goebell, Haan, Hennis, Hering, Heuser, Hort, Janke, Karlson, Keil, Koch, Koecke, Korb, Kühnel, Mahr, Niemeyer, Nöth, Pantke, Petry, Pfütz, Riecken, Rohen, Rupec, Rosemann, Schiff, H.F.M. Schmidt, Schmitz-Moormann, Schnell, Seidel, Stuke, Walcher.

